This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

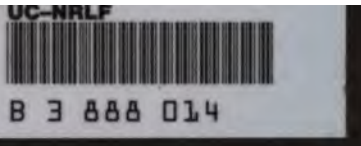
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

QK
746
S3



LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
GIFT OF
Lpz Univ.
Class
BIOLOGY
LIBRARY
G

Untersuchungen über Chemotropismus

und verwandte Erscheinungen bei Wurzeln, Sprossen und Pilzfäden.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

UNIVERSITÄT LEIPZIG

VORGELEGT VON

ROBERT SAMMET
AUS MUMSDORF BEI MEUSELWITZ (SACHS.-ALTENBURG)

Mit 7 Figuren im Text.

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Leipzig
Gebrüder Borntraeger
1905

QK 79
S3
BIOLOGY
LIBRARY
G

Angenommen von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Sektion auf Grund der Gutachten der Herren Pfeffer und Chun.

Leipzig, den 8. Februar 1905.

Der Procancellar.
Seeliger.

Lebenslauf.

Ich, Robert Hermann Sammet, wurde geboren am 22. April 1875 zu Mumsdorf (Sachsen-Altenburg) als Sohn des damaligen Ökonomieinspektors Robert Sammet und daselbst evangelisch-lutherisch getauft. Nach 7jährigem Besuche des Gymnasiums bis einschließlich Obersekunda widmete ich mich dem Apothekerberufe. Ich bestand nach 3jähriger Lehrzeit in Ilmenau Ostern 1897 in Weimar die Gehilfenprüfung und war dann drei Jahre lang als Gehilfe tätig. Von Ostern 1900 bis Michaelis 1904 besuchte ich die Universität Leipzig. Im November 1901 bestand ich die pharmazeutische Staatsprüfung mit „sehr gut“. Hierauf widmete ich mich dem Studium der Chemie und legte die beiden chemischen Verbandsprüfungen ab. Von Michaelis 1902 ab studierte ich Botanik, Geologie und spezielle Chemie und arbeitete im Botanischen Institut unter Leitung des Herrn Geheimrat Professor Dr. Pfeffer an meiner Dissertationsarbeit „Über Chemotropismus und verwandte Erscheinungen an Wurzeln, Sprossen und Pilzfäden“.

Leipzig, am 13. Jan. 1905.

162653

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

A. Einleitung.

Die botanische Literatur weist eine ganze Reihe von Arbeiten auf, die sich speziell mit der Untersuchung chemischer Richtungsreize bei Pflanzen beschäftigen.

Die ersten beziehen sich fast ausschließlich auf chemotaktische Reaktionen freibeweglicher, niederer Organismen. Zunächst war es Engelmann[1]) im Jahre 1881, der eine neue Methode zur Untersuchung der Sauerstoffausscheidung pflanzlicher und tierischer Organismen anwandte. Er benutzte zum Nachweis des Sauerstoffes die Eigenschaft verschiedener Bakterien, durch dieses Gas angelockt zu werden. In einer weiteren Arbeit über die Biologie der Schizomyceten[2]) brachte er weitere Belege für die chemische Empfindlichkeit der Mikroorganismen. Bald darauf, im Jahre 1885, wurden von Pfeffer[3]) die chemotaktischen Reaktionen näher verfolgt. So stellte Pfeffer unter anderem fest, daß die Samenfäden der Farne durch Äpfelsäure angelockt werden, während für die Samenfäden der Laubmoose Rohrzucker als hauptsächliches Anlockungsmittel dient. Bei diesen Untersuchungen ließ sich aber weiterhin noch konstatieren, daß durch zu hohe Konzentrationen eine abstoßende Wirkung zustande kam. Diese wird, wie die Untersuchungen von

1) Engelmann, Botan. Zeitung 1881, p. 442.

2) Ders., Pflügers Archiv f. Physiologie 1881, Bd. 26, p. 537.

3) Pfeffer, Berichte der Deutsch. botan. [illegible]aft 1883, p. 524. Desgl. Untersuch. a. d. botan. Institut zu Tübingen 1884, [illegible]. Desgl. Bd. II, p. 582.

Pfeffer und Massart[1]) ergaben, teilweise durch negativ chemotaktische, teilweise durch negativ osmotaktische Wirkungen verursacht.

Zur Erklärung des Chemotropismus und Osmotropismus[2]) sei erwähnt, daß wir unter Chemotropismus alle Orientierungsbewegungen zusammenfassen, die von einem Stoffe vermöge seiner chemischen Qualität und der Konzentrationsdifferenz ausgelöst werden, während die osmotropische Reizung nicht von der chemischen Qualität, sondern von der osmotischen Leistung des Stoffes abhängt. 1901 verfolgte dann Rothert[3]) die verschiedenen Eigenheiten der chemotaktischen Reizbarkeit der Bakterien, indem er ergänzend und bestätigend die von den früheren Forschern gemachten Beobachtungen erläuterte. Fernerhin wurden chemotropische Krümmungsbewegungen an Pilzfäden und Pollenschläuchen von Miyoshi[4]) festgestellt, nachdem vorher Molisch[5]) das Hinkrümmen der Pollenschläuche nach der Narbe als einen chemotropischen Reizeffekt angesprochen hatte.

Chemotropische Reizungen an höheren Pflanzen waren, außer den erwähnten Untersuchungen von Molisch und Miyoshi über Pollenschläuche, nur von Molisch[6]) in seiner Arbeit über den Aerotropismus der Wurzeln beobachtet worden. Doch bedürfen, wie Pfeffer[7]) in seiner Physiologie hervorhebt, diese Reaktionen eingehender Studien, die auch zu entscheiden haben, inwieweit etwa solche Reizungen eine Rolle in den Orientierungsbewegungen der Wurzeln im Wasser und im Boden spielen. Deshalb wurde nun auf Anregung meines hochverehrten Lehrers Herrn Geheimrat Professor Dr. Pfeffer näher untersucht, inwieweit

1. Wurzeln in Wasser,
2. Wurzeln, Sprosse und Pilzfäden im dampfgesättigten Raume,
3. Wurzeln in Erde

auf ungleiche Verteilung verschiedener Stoffe reagieren.

---

1) Massart, Archives Biologie 1889, Bd. 9, p. 515.

2) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, II. Auflage, Bd. II, p. 581. — Rothert, Flora 1901, p. 414.

3) Rothert, Flora 1901, p. 371.

4) Miyoshi, Botan. Zeitung 1894, p. 1, und Flora 1894, p. 76.

5) Molisch, Sitzungsberichte d. Wiener Akademie 1893, Bd. 102, Abt. I, p. 423.

6) Ders., Sitzungsberichte d. Wiener Akademie 1884, Abt. I, p. 111.

7) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, II. Aufl., Bd. II, p. 586.

Hierzu sei noch besonders erwähnt, daß mir erst nach Abschluß dieser Untersuchungen die Arbeit von Newcombe und A. Rhodes[1]) zugängig wurde.

B. Orientierung über die Resultate.

Aus den mitzuteilenden Versuchen ergab sich, daß sämtliche geprüften Wurzeln mehr oder weniger gut chemotropisch reagierten. In wässeriger Lösung riefen sogar alle daraufhin geprüften anorganischen und organischen Stoffe bei gewissen Konzentrationen eine positiv gerichtete Wurzelreaktion hervor, die nach Überschreiten gewisser Grenzen bei den meisten Stoffen in eine negativ gerichtete Krümmung überging.

Obgleich alle Stoffe eine tropistische Reaktion ergaben, so handelt es sich doch, wie aus der späteren Diskussion hervorgeht, zunächst nicht um eine osmotropische, sondern um eine chemotropische Reaktion; jedoch ist damit nicht ausgeschlossen, daß auch osmotropische Reaktionen vorkommen.

Bei den Versuchen in Luft, bei welchen mit ungleicher Verteilung verschiedener gasförmiger Körper im dampfgesättigten Raume gearbeitet wurde, zeigten die Wurzeln eine größere Verschiedenheit des Verhaltens. Hierbei war im allgemeinen die osmotropische Reizung der Wurzeln ausgeschlossen. Einigen Substanzen gegenüber verhielten sich die Wurzeln indifferent, zB. gegen Wasserstoff. Auf inäquale Verteilung des Sauerstoffes antworteten die Wurzeln nur durch eine positive Reaktionskrümmung; bei Kohlensäure, Äther-, Alkohol- usw. Dämpfen traten je nach den Konzentrationsverhältnissen positive oder negative Reaktionen ein.

Bei Versuchen in Erde endlich traten Kombinationserfolge von chemotropischen und hydrotropischen Reaktionen ein, die je nach den Umständen ein Überwiegen der einen oder der anderen Wirkung erkennen ließen.

1) Newcombe und A. Rhodes, Botanical Gazette 1904, Bd. 37, p. 23. Desgl., Naturw. Rundschau, 1904, p. 598 (Referat).

C. Versuche in Wasser.

1. Allgemeines.

Als Versuchsobjekte verwandte ich in feuchten Sägespänen gezogene, etwa 3 bis 4 cm lange Wurzeln von:

1. *Lupinus albus*	= Leguminosen.
2. *Vicia faba major* und *minor*	= Leguminosen.
3. *Vicia sativa*	= Leguminosen.
4. *Phaseolus multiflorus*	= Leguminosen.
5. *Soja hispida*	= Leguminosen.
6. *Pisum sativum*	= Leguminosen.
7. *Cucurbita pepo*	= Cucurbitaceen.
8. *Citrullus colocynthis*	= Cucurbitaceen.
9. *Tropaeolum majus*	= Tropaeolaceen.
10. *Fagopyrum esculentum*	= Polygonaceen.
11. *Brassica nigra*	= Cruciferen.
12. *Sinapis alba*	= Cruciferen.
13. *Helianthus annuus*	= Compositen.
14. *Zea mays*	= Gramineen.

Von diesen Objekten eigneten sich für meine Versuche am besten die Wurzeln von *Lupinus albus*, *Vicia sativa* und *Sinapis alba*, weshalb dieselben auch am meisten Verwendung fanden. Doch will ich noch bemerken, daß sämtliche anderen Wurzeln, wenn auch zum Teil minder gut, reagierten.

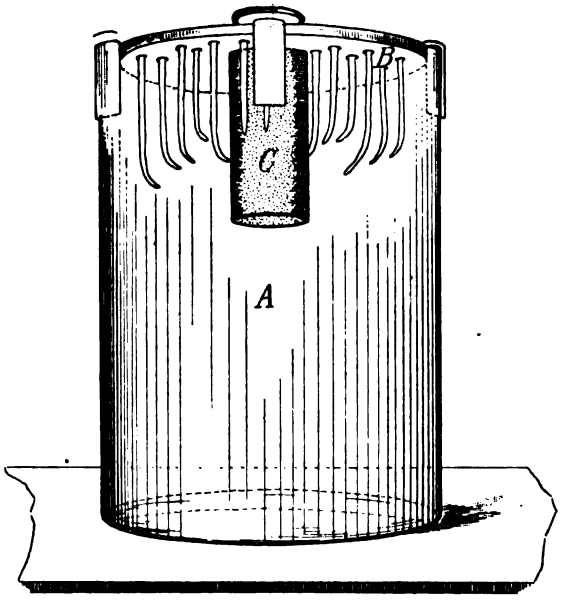
Die von mir vorgenommenen Versuche wurden zum größten Teil im Dunkelzimmer ausgeführt. Dasselbe wies während der Ausführung meiner Versuche eine ziemlich konstante Temperatur von 17 bis 19° C. auf. Bei einigen Versuchen zur Feststellung der Reizschwellen dagegen, wobei es darauf ankam, daß keine Strömungen durch geringe Temperaturschwankungen oder durch Erschütterung des Bodens entstanden, stellte ich die Gefäße im Wärmezimmer[1]) auf einem gemauerten Postamente bei konstanter Temperatur von 25° C. auf und verdunkelte durch Überdeckung mit einem großen Dunkelzylinder.

2. Methodik.

Zur Anstellung der Versuche wurde eine Anzahl großer zylindrischer Glashäfen (siehe Fig. 1 *A*) von 45 cm Höhe und 25 cm

1) Pfeffer, Berichte der Deutsch. botan. Gesellschaft 1895, Bd. 13, p. 48.

Breite gewählt, welche 20 l Wasser faßten. Auf diesem mit Wasser gefüllten Zylinder wurde eine Scheibe aus Zinkblech (*B*; 20 cm Durchmesser) befestigt. In der Mitte der Blechscheibe (*B*) befand sich eine kreisrunde Öffnung, in welche eine Tonzelle *C* genau hineinpaßte. Sie hatte eine Höhe von 15 cm und einen Durchmesser von 4,5 cm. Um diese Tonzelle herum wurden die Wurzeln in drei verschiedenen Abständen von 1 cm, 3 cm und 6 cm in die



Figur 1.

A großer Glaszylinder mit Wasser gefüllt. *B* Zinkblechscheibe mit drei Reihen Wurzeln in verschiedenen Abständen von der in der Mitte befindlichen Tonzelle *C*, in welcher die gelösten Stoffe enthalten sind.

zu diesem Zwecke in der Blechscheibe befindlichen Löcher eingesetzt und mit Watte darin befestigt. Die Wurzeln waren also vertikal abwärts gerichtet.

Nach der Zusammenstellung wurden die Tonzellen mit den verschiedenen gelösten Stoffen angefüllt. Von diesen kamen Alkohol, Äther, Kampfer, Chlornatrium, Kaliumnitrat, Rohrzucker, Calciumsulfat (Gips), Essigsäure und Glyzerin zur Verwendung.

Bei Versuchen mit Gips wurde eine andere Methode angewendet. Gebrannter Gips wurde mit Wasser zu einem dicken Brei angerührt und dann in einer Form aus starkem Papier zu einer Platte von 18 : 12 cm ausgegossen. Vor dem Erstarren wurde ein

Holzstab in der Mitte der Schmalseite eingegipst und nach völligem Festwerden die Platte daran mittels eines Bindfadens im Wasser aufgehängt. Bei der Anstellung dieses Versuches wurde nicht nur ein Glaszylinder verwendet, sondern eine große, rechteckige Glasküvette von 60 cm Länge und 40 cm Breite und gleicher Höhe. Die Gipsplatte wurde an einem Holzstab, der quer über die schmalere Seite der Küvette gelegt war, aufgehängt und lag somit an der Wand des Gefäßes an. Die Stellung der Wurzeln gegen die Gipsplatte war so angeordnet, daß dieselben auf einer durchlochten Korkplatte in fünf Reihen hintereinander standen.

In beiden Fällen entsteht infolge der Diffusion in dem umgebenden Wasser ein Konzentrationsgefälle des angewandten Stoffes. Die Wurzeln sind somit einer ungleichen Stoffverteilung, also einer tropistischen Reizbedingung ausgesetzt. Um annähernd das Konzentrationsgefälle für einige Stoffe zu bestimmen, wurde folgender Versuch ausgeführt:

Auf einem zitterfreien Tische wurde der beschriebene große Glaszylinder bei konstanter Temperatur von 25° C. aufgestellt. Die Tonzelle war in der Mitte der Wasserfläche mit vier verzinkten Eisendrähten aufgehängt. Vom Tonzylinder bis zum Rande des Glashafens wurde ein schmales Brett gelegt und dasselbe mit Siegellack auf den Rändern der Gefäße befestigt. Die Brücke besaß in den Entfernungen der sonst dort stehenden Wurzeln Löcher, durch welche je eine Pipette von 10 cm^3 Inhalt in das Wasser ragte. Um ein vorzeitiges Eindringen des Wassers zu verhindern, waren die Pipetten vor dem Einsetzen am oberen Ende durch Baumwachs verklebt. Nach genau einer Stunde wurde das Klebewachs entfernt und das Wasser trat in die Pipette ein. Je 10 cm^3 der Flüssigkeit wurden bei Anwendung von Chlornatrium mittels Normal-Zehntel-Silbernitratlösung maßanalytisch bestimmt. Dabei erhielt ich die in der Tabelle 1 (folg. Seite) angegebenen Annäherungswerte.

Hierbei ist angenommen, daß die Konzentration in der Tonzelle konstant bleibt, während doch in Wirklichkeit dieselbe abnimmt. Indes ändert sich bei mäßig langer Versuchszeit die Konzentration innerhalb der Tonzelle und somit auch die Austrittsmenge nur wenig. Bei einem Versuche nämlich mit 25prozentiger Chlornatriumlösung in der Tonzelle belief sich der Gesamtaustritt der Kochsalzmenge in den ersten 12 Stunden, bei wiederholter Erneuerung des umspülenden Wassers, auf ca. 1,2 g Chlornatrium pro Stunde. Daraus berechnet sich nach Ausmaß der Tonzelle als

Tabelle 1.

In die Tonzelle wurde 2% Chlornatriumlösung gefüllt. Der Chlornatriumgehalt in der Außenflüssigkeit ist in % angegeben.

No.	Zeit, nach welcher der Versuch angestellt wurde	Direkt an der Tonzelle %	3 cm von der Tonzelle entfernt %	6 cm von der Tonzelle entfernt %
1	1 Std.	0,003	0,002	—
2	2 „	0,012	0,009	0,005
3	3 „	0,015	0,011	0,007
4	5 „	0,021	0,018	0,012
5	7 „	0,025	0,021	0,018
6	9 „	0,032	0,025	0,021
7	20 „	0,047	0,041	0,038

Durchgang in der Stunde pro 1 qcm 0,0013 g NaCl. Daß in der Tat die Wurzelkrümmung von dem Konzentrationsgefälle des gelösten Stoffes abhängt, ergibt sich aus folgendem:

Wurde nur Leitungswasser von gleicher Temperatur der Außenflüssigkeit in die Tonzelle getan, so trat niemals eine Krümmung ein. Ebenso unterblieben die Krümmungen in homogenen Salzlösungen.

Obgleich somit feststeht, daß die Wurzelkrümmungen durch die tropistischen Wirkungen der Salzlösungen bedingt werden, so lassen sich doch die wirksamen Konzentrationsdifferenzen sowie die Schwellenwerte nach unserer Methode nicht so leicht exakt bestimmen. Zur sicheren Beurteilung derselben würden sowohl genaue Kenntnisse der Konzentration, als auch des Gefälles in der die Tonzelle umgebenden Flüssigkeit notwendig sein. Über diese Größen ist natürlich nichts ausgesagt durch die Angabe, daß die Reaktion erfolgt, wenn die Tonzelle 2% Chlornatrium enthielt. Da aber aus der Tabelle 1 oben zu ersehen ist, daß unter diesen Umständen nach neun Stunden das Wasser unmittelbar an der Tonzelle 0,03%, in 3 cm Abstand von der Tonzelle 0,025% NaCl enthält, so ist zu sagen, daß dieses geringe Konzentrationsgefälle zur tropistischen Reizung ausreicht.

3. Resultate mit Wurzeln.

Die Tonzelle wurde mit Wasser gefüllt, das Alkohol, Äther, Chlornatrium, Kaliumnitrat, Rohrzucker, Essigsäure und Glyzerin in den in den Tabellen in Gewichtsprozenten im Volumen ausgedrückten Mengen enthielt. Bei Anwendung von Kampfer wurde eine gesättigte Lösung in der Tonzelle dadurch unterhalten, daß

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA

eine größere Menge Kampfer in das Innere der Tonzelle gebracht war. Bei sämtlichen Versuchen wurde ein Säckchen Erde in die Außenflüssigkeit gehängt. Zur Erklärung der Tabellen will ich noch hinzufügen, daß die Wurzeln um die Tonzelle auf der Blechscheibe so angeordnet waren, daß die Wurzeln des zweiten, ferneren Kreises (Nr. 7—12) mit den Wurzeln des ersten Kreises (Nr. 1—6) alternierten. Die Wurzeln des dritten Kreises, 6 cm von der Tonzelle entfernt, befanden sich wiederum auf gleichen Radien mit den Wurzeln des ersten Kreises.

Als Zeichen für positive und negative Krümmungen habe ich hier und fernerhin die Zeichen + und − angewendet. 0 bezeichnet, daß keine Krümmung stattfand. Durch 5 = −, 1 = + wird angezeigt, daß von den 6 Versuchsobjekten 5 eine negativ gerichtete, 1 eine positiv gerichtete Krümmung ergaben. Die Prozente geben den gewichtsprozentualen Gehalt der Stoffe in 100 ccm der in die Tonzelle eingefüllten Lösung an.

Tabelle 2.

Versuche mit Alkohol, Ätherwasser, Kampfer, Glyzerin, Chlornatrium, Kaliumnitrat, Rohrzucker, Essigsäure. Versuchspflanze *Lupinus albus*. Versuchsdauer = 12 Stunden. Temperatur 17° C.

Bezeichnung der Kreise und der Abstände von der Fläche in cm	Anzahl d. Wurzeln in jed. Kreise	Alkoholversuche				Ätherwasserversuche			Kampferversuche
		95 %	50 %	25 %	10 %	8 %	4 %	2 %	Löslichkeit 1 : 1200
1. Kreis	6	5 = −	3 = +	3 = +	5 = +	2 = +	4 = +	6 = +	6 = +
= ½ cm		1 = +	3 = −	3 = −	1 war krank	4 = −	2 = −		
2. Kreis	6	4 = +	5 = +	6 = +	5 = +	5 = +	6 = +	5 = +	4 = +
= 3 cm		2 = −	1 = 0		1 = 0	1 = −		1 = 0	2 = 0
3. Kreis	6	5 = +	5 = +	4 = +	2 = +	6 = +	5 = +	3 = +	1 = +
= 6 cm		1 = 0	1 = 0	2 = 0	4 = 0		1 = 0	3 = 0	5 = 0

Bezeichnung der Kreise nebst Angabe der Entfernung	Anzahl d. Wurzeln i. j. Kreise	Chlornatriumversuche				Rohrzuckerversuche			
		25 %	20 %	10 %	5 %	50 %	25 %	10 %	5 %
1. Kreis	6	3 = +	5 = +	6 = +	6 = +	6 = +	6 = +	6 = +	6 = +
= ½ cm		3 = −	1 = −						
2. Kreis	6	6 = +	6 = +	6 = +	6 = +	6 = +	6 = +	6 = +	5 = +
= 3 cm									1 = 0
3. Kreis	6	6 = +	5 = +	4 = +	1 = +	6 = +	6 = +	3 = +	3 = +
= 6 cm			1 = 0	2 = 0	5 = 0			3 = 0	3 = 0

(Fortsetzung der Tabelle 2.)

Bezeichnung der Kreise nebst Angabe der Entfernung	Anzahl d. Wurzeln i. j. Kreise	Kaliumnitratversuche			Essigsäureversuche			
		25 %	10 %	5 %	100 %	50 %	25 %	10 %
1. Kreis = ½ cm	6	2 = + 4 = −	5 = + 1 = −	6 = +	5 = − 1 ist krank	3 = + 3 = −	5 = + 1 = −	6 = +
2. Kreis = 3 cm	6	6 = +	6 = +	6 = +	4 = − 2 = +	6 = +	6 = +	6 = +
3. Kreis = 6 cm	6	6 = +	6 = +	5 = + 1 = 0	6 = +	6 = +	6 = +	5 = + 1 = 0

Bezeichnung der Kreise nebst Angabe der Entfernung	Anzahl der Wurzeln in jedem Kreise	Glyzerinversuche			
		90 %	45 %	22,5 %	11,25 %
1. Kreis = ½ cm	6	5 = −, 1 = +	2 = +, 4 = −	5 = +, 1 = −	6 = +
2. Kreis = 3 cm	6	4 = +, 2 = −	6 = +	6 = +	6 = +
3. Kreis = 6 cm	6	6 = +	6 = +	4 = +, 2 = 0	2 = +, 4 = 0

Lupinus albus-Wurzeln wurden besonders oft bei den Versuchen angewendet, da dieselben sich wegen ihres geraden Wuchses und ihrer großen Empfindlichkeit für die tropistischen Reize gut eigneten. Versuche mit *Vicia sativa* ergaben indes noch bessere Resultate, während *Phaseolus multiflorus* und *Vicia faba major* weniger gut reagierten. Noch ist weiter zu bemerken, daß jeder Versuch mehrmals wiederholt wurde. Somit geben obige Tabellen nur Beispiele von den vielen, mit den verschiedensten Objekten ausgeführten Versuchen an. Die Ablenkung durch die verschiedensten Reizstoffe von der Vertikalstellung der Wurzeln schwankt zwischen 0 und 90 Grad. Eine Beeinträchtigung der Wachstumsschnelligkeit der Wurzeln trat nur bei Verwendung der hochkonzentrierten Lösungen von Alkohol und einigen anderen Stoffen ein.

Bei Anwendung von Gips, dessen Löslichkeit bei 20° C. ca. 1 Teil in 490 Teilen Wasser beträgt, läßt sich leicht ersehen, daß schon sehr geringe Stoffmengen genügen, um eine Krümmungsreaktion zu bewirken.

Infolge der geringen Löslichkeit des Gipses und der dadurch entstehenden, geringen Konzentration wird ebenso wie bei Kampfer immer nur eine positive Wurzelkrümmung hervorgebracht.

Tabelle 3 für Gips.

[illegible] Wurzeln von *Lupinus albus*. Temperatur [illegible] [illegible] Wurzeln [illegible] Abstände [illegible] Versuchsdauer 24 Stunden.

Abstand der Wurzeln von der Platte	○ Gipsplatte			
1,5 cm	1. + 25°	2. + 35°	3. + 50°	4. + 30°
2,5 cm	5. + 45°	6. + 35°	7. + 50°	
5,5 cm	8. + 30°	9. + 30°	10. + 50°	11. + 45°
8,5 cm	12. + 30°	13. + 20°	14. + 35°	
10 cm	15. + 30°	16. + 30°	17. + 10°	18. + 15°

Weiter ließ sich durch Versuche noch feststellen, daß dekapitierte Wurzeln ebenfalls reagierten. Wurde an den Wurzeln verschiedener Pflanzen der Spitzenteil bis zu 3 mm entfernt, so zeigte sich, daß dieselben noch ganz gut reagierten. Erst bei Wegnahme des 4. mm zeigten die Wurzeln niemals mehr eine tropistische Wurzelkrümmung.

Tabelle 4

Versuche mit dekapitierten und intakten Wurzeln von *Lupinus albus*. Versuchsdauer 20 Stunden. Temperatur 25° konstant im Wärmezimmer.

Bezeichnung der Wurzelkreise und Abstände	Nr. der Wurzeln	Mit Zucker 25 % Länge der abgeschnittenen Spitze in mm	Ablenkung von der Vertikalen in Graden	Länge d. Wurzeln vor Anstellung d. Versuchs cm	Zuwachs innerhalb 20 Std. cm	Mit Chlornatrium 10 % Länge der abgeschnittenen Spitze in mm	Ablenkung von der Vertikalen in Graden	Länge d. Wurzeln vor Anstellung d. Versuchs cm	Zuwachs innerhalb 20 Std. cm
1. Kreis	1	nicht abgeschnitten	+ 50	2,3	3,0	nicht abgeschnitten	+ 35	2,5	2,1
= ½ cm	2	„ „	+ 35	3,1	2,4	„ „	+ 30	2,7	2,0
von der	3	1 mm „	+ 50	2,6	2,1	1 mm „	+ 40	2,7	1,8
diosm.	4	2 mm „	+ 70	2,8	1,8	2 mm „	+ 30	2,5	1,2
Fläche	5	3 mm „	+ 30	2,8	0,7	3 mm „	+ 15	2,5	0,4
entfernt	6	4 mm „	+ 0	2,7	0	4 mm „	± 0	2,6	0

1) Es ist hierbei der Winkel gemessen, den man erhält, wenn man den Punkt, wo die Krümmung beginnt, mit der Wurzelspitze durch eine gerade Linie verbindet.

(Fortsetzung der Tabelle 4.)

Bezeichnung der Wurzelkreise und Abstände	Nr. der Wurzeln	Mit Zucker 25 % Länge der abgeschnittenen Spitze in mm	Ablenkung von der Vertikalen in Graden	Länge d. Wurzeln vor Anstellung d. Versuchs cm	Zuwachs innerhalb 20 Std. cm	Mit Chlornatrium 10 % Länge der abgeschnittenen Spitze in mm	Ablenkung von der Vertikalen in Graden	Länge d. Wurzeln vor Anstellung d. Versuchs cm	Zuwachs innerhalb 20 Std. cm
2. Kreis	7	nicht abgeschnitten	+ 60	3,0	2,3	nicht abgeschnitten	+ 50	2,3	1,5
= 3 cm	8	„ „	+ 35	2,6	2,6	„ „	+ 60	2,3	1,8
von der	9	1 mm „	+ 50	2,7	1,5	1 mm „	+ 45	2,8	1,5
diosm.	10	2 mm „	+ 40	2,9	1,0	2 mm „	+ 50	2,6	1,0
Fläche	11	3 mm „	+ 15	2,5	0,4	3 mm „	+ 35	2,3	0,4
entfernt	12	4 mm „	0	2,7	0	4 mm „	0	2,3	0
3. Kreis	13	nicht abgeschnitten	+ 30	2,7	2,3	nicht abgeschnitten	+ 30	2,5	1,8
= 6 cm	14	„ „	+ 30	2,3	2,4	„ „	+ 30	2,9	1,6
von der	15	1 mm „	+ 30	2,5	2,2	1 mm „	+ 20	2,6	1,2
diosm.	16	2 mm „	+ 20	2,3	1,4	2 mm „	+ 25	2,4	0,7
Fläche	17	3 mm „	+ 10	2,5	0,3	3 mm „	+ 25	2,4	0,3
entfernt	18	4 mm „	0	2,5	0	4 mm „	0	2,3	0

4. Folgerungen.

Aus den mitgeteilten Tatsachen geht hervor, daß eine inhomogene Verteilung von Stoffen eine tropistische Reaktion an Wurzeln bewirkt. Hierbei riefen alle Stoffe eine positiv gerichtete Krümmung hervor, d. h. die Wurzeln krümmten sich nach dem aus der Tonzelle diosmierenden Stoffe hin. Bei Anwendung konzentrierter Lösungen trat aber bei vielen Stoffen mit der Zeit eine entgegengesetzt gerichtete (negativ) tropistische Krümmung ein. Es wird dieses offenbar durch die allmähliche Steigerung der Konzentration verursacht, was sich auch daraus ergibt, daß die in größerer Entfernung von der Tonzelle aufgestellten Wurzeln sich entweder gar nicht oder doch erst später negativ chemotropisch krümmten.

So ist es auch zu verstehen, daß nur positiver Chemotropismus beobachtet wurde, wenn in die Tonzelle verdünntere Lösungen von Zucker, Chlornatrium usw. eingefüllt waren, und daß schwer lösliche Stoffe wie Kampfer und Gips nur positiv gerichtete Reaktionen hervorriefen.

Wie verschiedene Forscher feststellten, genügt bei den sehr sensiblen Mikroorganismen eine sehr geringe Menge eines guten Reizstoffes, um eine merkliche Reizreaktion auszulösen, während bei

schwächer wirkenden Reizstoffen ein größerer Stoffgehalt zur Erzielung einer merklichen Reizung nötig ist.

Ähnliche Erscheinungen, wie bei den niederen Organismen, machen sich nun auch bei den mit Wurzeln angestellten Versuchen geltend. So vermochte, wie schon gesagt, Kampfer, der in Wasser 1 : 1200 löslich ist, und ebenso Gips, dessen Löslichkeit in Wasser bei 20° 1 : 490 beträgt, nur positive Wurzelkrümmungen hervorzurufen. Gleiche Resultate wurden erhalten bei Anwendung von 2 – 10% Chlornatriumlösung und von Rohrzuckerlösungen bis zu 50%. Wie schon früher mitgeteilt, beläuft sich aber der Durchtritt für eine 2%-Kochsalzlösung durch die Tonzelle auf 1 qcm berechnet auf 0,0013 g pro Stunde, während der Durchtritt bei einer 20%-Kochsalzlösung unter gleichen Bedingungen = 0,0034 g beträgt. Zucker hingegen tritt langsamer durch die Tonzelle. Für eine 25%-Rohrzuckerlösung wurde die Durchtrittsmenge pro Stunde auf 1 qcm berechnet = 0,0017 g festgestellt.

Schon mit Rücksicht auf die geringe Konzentration, die zu einer tropistischen Wurzelreaktion nötig ist, wird es wahrscheinlich, daß ein chemotropischer Einfluß, der also von der Stoffqualität abhängig ist, in Betracht kommt, daß also nicht eine osmotische Reizung vorliegt.

Letzteres wird auch dadurch erwiesen, daß zum Beispiel bei Kampfer eine viel geringere Molekularkonzentration zur Reizung ausreicht, als bei Zucker oder Chlornatrium; denn bei der geringen Löslichkeit des Kampfers (vgl. oben) tritt nur eine sehr geringe Menge Kampfer aus der Tonzelle in das umgebende Wasser. Diese Menge und ihre osmotische Wirkung ist aber viel geringer als die Menge von Zucker oder Chlornatrium, die aus der Tonzelle austreten, wenn in diese eine 5- bezw. eine 1,5-prozentige Lösung eingefüllt wird, d. h. Lösungen, die ungefähr die gleiche tropistische Reizung hervorrufen, wie sie bei Versuchen auftritt, in welchen sich in der Tonzelle gesättigtes Kampferwasser befindet. Die untersuchten Stoffe verhalten sich demnach spezifisch verschieden wirksam, d. h. sie wirken in äquimolekularen Lösungen qualitativ verschieden stark auf die Wurzeln ein.

Zur Charakterisierung der Reizwirkung und des Schwellenwertes von Kochsalz und Rohrzucker mag noch folgende Tabelle dienen:

Tabelle 5.

Versuchsobjekte = Wurzeln von *Vicia sativa*. Versuchsdauer = 24 Stunden. Temperatur 25° C. konstant.

Angabe der Gewichtsprozente im Volumen. In der Tonzelle Lösung 25° C.	Außenflüssigkeit im Glashafen (20 l fassend)	Wurzelabstände von der Tonzelle in cm angegeben. Je sechs Wurzeln im Kreis		
		½ cm	3 cm	6 cm
25% Na Cl	Leitungswasser 25° C.	6 = −	2 = +, 4 = −	6 = +
20% „	„	6 = −	5 = +, 1 = −	6 = +
15% „	„	1 = −, 5 = +	6 = +	6 = +
10% „	„	6 = +	6 = +	6 = +
5% „	„	6 = +	6 = +	6 = +
3% „	„	6 = +	6 = +	5 = +, 1 = 0
2% „	„	6 = +	6 = +	5 = +, 1 = 0
1,5% „	„	6 = +	2 = +, 4 = 0	4 = 0, 2 = +[1]
1% „	„	6 = 0	6 = 0	6 = 0
50% Rohrzucker	„	6 = +	6 = +	6 = +
25% „	„	6 = +	6 = +	6 = +
10% „	„	6 = +	6 = +	5 = +, 1 = 0
8% „	„	6 = +	6 = +	3 = +, 3 = 0
7% „	„	6 = +	6 = +	3 = +, 3 = 0
5% „	„	6 = +	2 = +, 4 = 0	6 = 0
4% „	„	6 = 0	6 = 0	6 = 0

Im Anschluß an vorstehende Tabelle sei aber nochmals betont, daß durch die Konzentration der in der Tonzelle befindlichen Lösung der reale Schwellenwert nicht bemessen wird, da ja die Wurzeln nur durch die aus der Zelle hervortretenden Stoffe gereizt werden. Die Konzentration und das Konzentrationsgefälle außerhalb der Tonzelle ist aber auch aus den früher schon angegebenen Zahlenwerten nur annähernd zu ersehen; denn außer der Diffusionsschnelligkeit wirken verschiedene Faktoren, so zB. Bewegung des Wassers durch Temperaturdifferenzen oder andere Einflüsse außerhalb auf das Konzentrationsgefälle.

Von großer Bedeutung ist, daß alle geprüften Stoffe eine tropistische Reaktion an den Wurzeln hervorbringen, auch Glyzerin, das, wie die Untersuchungen verschiedener Forscher[2]) an Bakterien ergaben, keine chemotaktische Reizung ausübt. Ebenso erzielte

1) Die Wurzelkrümmungen waren sehr schwach.

2) Pfeffer, a. a. O., 1888, p. 626. — Ders., Pflanzenphysiologie, II. Auflage, Bd. 2, p. 803. — Desgl. Rothert, Flora 1901, p. 409. — Desgl. Massart, Archives de Biologie, 1889, Bd. 9, p. 528.

Miyoshi[1]) mit Glyzerin an Pilzhyphen nur eine schwache positiv chemotropische Reaktion. Dagegen zeigen die in Tabelle 2 (p. 9) mitgeteilten Versuche, daß Glyzerin eine positive und bei höherer Konzentration eine negative tropistische Wirkung hervorruft.

Übrigens zeigten sich auch bei Bakterien nur wenige Stoffe als chemotaktisch unwirksam, deshalb ist es wohl möglich, daß fernerhin auch bei Wurzeln unwirksame Stoffe gefunden werden.

Bei genügend löslichen Stoffen und bei genügend starker Konzentration in der Außenflüssigkeit treten neben positiven auch negative Wurzelkrümmungen auf. Ob diese negativen Reaktionen als rein chemotropische oder osmotropische Effekte oder als Kombinationserfolge beider anzusehen sind, muß dahingestellt bleiben. Die fernerhin mitzuteilenden Erfahrungen mit gasförmigen Stoffen sprechen für das Vorkommen von negativem Chemotropismus.

Die Frage betreffend, ob die Wurzeln auf chemische Reize auch dann reagieren, wenn die untersuchten Stoffe der Außenflüssigkeit zugesetzt werden, ist zu sagen, daß, wie zu erwarten war, dann Abschwächung und Aufhebung der Wurzelreaktionen eintrat. Nähere Versuche, ob dabei ähnliche Beziehungen bestehen, wie sie für die chemotaktische Reizung von Mikroorganismen nachgewiesen sind, und wie sie im Weberschen Gesetz[2]) ausgesprochen werden, wurden nicht angestellt. Jedoch spricht für solche Beziehungen der Umstand, daß bei den in Wasser befindlichen Wurzeln der chemotropische Schwellenwert erreicht ist, wenn sich in der Tonzelle eine 1,5proz. Lösung von Chlornatrium befindet, während der gleiche Reizeffekt erst bei 7% Chlornatrium eintritt, wenn als Außenflüssigkeit nicht reines Wasser, sondern eine 0,5proz. Chlornatriumlösung genommen wird.

D. Versuche in Luft.

a) Versuche mit Wurzeln.

In diesem Abschnitt soll gezeigt werden, daß wachsende Wurzeln und Sprosse, sowie Sporangienträger von Pilzen durch den einseitigen Angriff von Gasen zu tropistischen Krümmungen veranlaßt werden können.

Als erster war es Molisch[3]), wie schon in der Einleitung angegeben, der sich mit solchen Versuchen befaßte. Nach Abschluß

1) Miyoshi, Botan. Zeitung 1894, p. 17.

2) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, II Auflage, Bd. II, p. 814.

3) Molisch, Sitzungsbericht der Wiener Akademie 1884, Bd. 90, Abt. I, p. 111.

meiner Untersuchungen wurde eine Studie veröffentlicht, welche die Existenz des Aerotropismus in Frage stellt.

In dieser Arbeit von Miß Bennet[1]) werden die von Molisch gemachten Beobachtungen als hydrotropische Reaktionen gedeutet. Tatsächlich ist aber aus den von mir gemachten Beobachtungen die Existenz des Aerotropismus nur zu bejahen, zumal dekapitierte Wurzeln ebenfalls reagierten. Auch bei diesen Versuchen, wo es sich nur um Chemotropismus handeln kann, kommt es ebenfalls wieder darauf an, Konzentrationsdifferenzen der gasförmigen Körper und Luftarten auf entgegengesetzten Seiten der Wurzeln zu schaffen; denn nur durch ein Konzentrationsgefälle im Medium, also in der dampfgesättigten Luft, werden die chemotropischen Reizkrümmungen bedingt.

Als Chemotropica wurden von den Luftarten:

Sauerstoff, Kohlensäure und Wasserstoff,

von flüchtigen Stoffen:

Äther, Äthylalkohol, Methylalkohol, Aceton, Ammoniak, Terpentinöl, Petroleum, Essigsäure und Kampfer

angewendet.

1. Methodik.

Bei den Luftversuchen sind zwei Arten der Versuchsanstellung zu unterscheiden.

Einmal ließ ich die Gase aus einem mit dünnem Seidenstoff überzogenen Glaszylinder diffundieren, ohne daß eine Differenz des Gasdruckes im Zylinder vorhanden war (Interdiffusion). Bei anderer Versuchsanstellung wurden Gasströme gegen die Versuchsobjekte geleitet und so ein Gefälle hergestellt (Massenströmung).

Bei beiden Arten der Versuchsanstellung war es nötig, daß sich die Wurzeln dauernd in einem gleichmäßig dampfgesättigten Raume befanden.

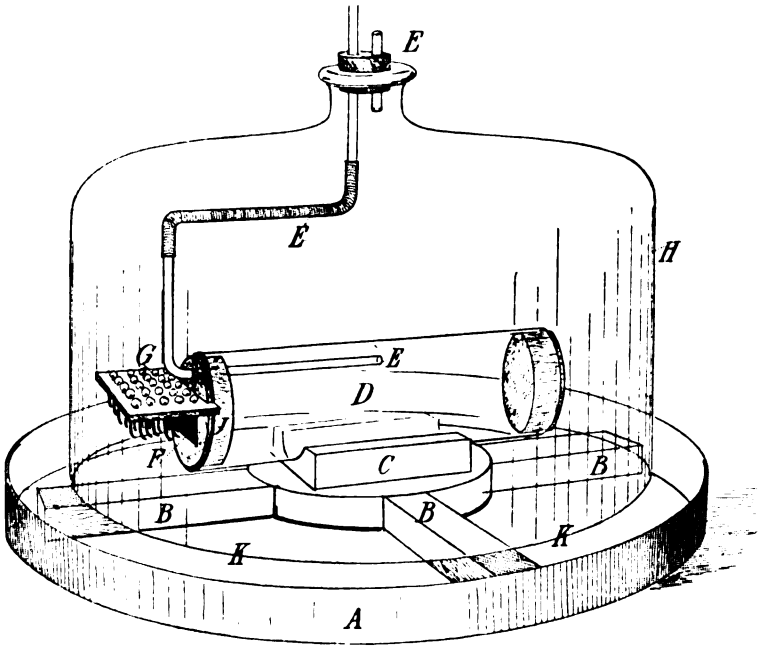
Bei den Versuchen kamen folgende Methoden in Anwendung:

1. nach Molisch (Figur 2).

Nach dem Vorgehen Molischs wurde ein Zylinder D von 30 cm Höhe und 12 cm Durchmesser durch eine Korkplatte J verschlossen, in der sich eine viereckige Öffnung F von 9 cm Länge und $4^1/_2$ cm Höhe befand. Die Korkplatte wurde mittels Paraffin gedichtet. Zur Entfernung des Paraffingeruches wurde der Zylinder

1) Bennet, Are roots aerotropic? Botanical Gazette 1904, p. 241.

längere Zeit in Wasser gelegt. Nach dem Verschwinden des dem Paraffin immer mehr oder weniger anhaftenden Geruches, was durch die angegebene Methode sehr gut gelingt, wurde über die Öffnung des Korkes ein dünner Seidenstoff gezogen, der mit Paraffin an den Rändern auf dem Korke befestigt wurde. Über der Längsseite der mit Seidenstoff überzogenen Öffnung *F*, am Rande des Gefäßes *D*, wurde eine gebogene Glasröhre *E* durch den Kork *J*



Figur 2.

A Zinkblechwanne mit Wasser. *B* Holzkreuz in der Wanne, worauf die Glocke *H* ruht. *C* Träger aus Holz, worauf der Zylinder *D* ruht. *D* der mit Gas gefüllte Zylinder. *E* Zuleitungsröhre für Gase. *F* die mit Seidenstoff überzogene Öffnung des Verschlußkorkes *J*. *G* Korkplatte mit Löchern[1]), in denen die Wurzeln befestigt sind. *H* Geräumige Glocke mit feuchtem Filtrierpapier ausgelegt. *J* Verschlußkork des Zylinders *D*, darin die Öffnung *F*. *K* Glockenrand der Glasglocke *H*.

bis mitten in das Gefäß *D* geleitet und einparaffiniert. Etwas unterhalb der Eintrittsstelle der Röhre *E* wurde eine mit vier Reihen Löchern versehene dünne Korkplatte *G*, 9 : 12 cm, parallel mit der langen Seite der Öffnung *F* mittels Siegellacks so befestigt, daß die Platte *G* mit der darunter befindlichen Zinkblechwanne *A* parallel stand, wenn der Zylinder horizontal (wie in der Figur 2 angegeben) gelegt war.

1) Der Zeichner hat versehentlich fünf Reihen von Keimlingen statt vier angebracht.

An den bereits genannten, in feuchten Sägespänen gezogenen Wurzeln von *Lupinus albus*, *Vicia sativa* usw. wurden, bevor sie in den Löchern der Korkplatte *G* mit Watte befestigt wurden, die Kotyledonen in Watte gehüllt, und die Wurzeln bis 7,5 mm von der Spitze mit feuchtem Seidenpapier umgegeben. Der ganze Apparat *D* wurde hierauf mit dem betreffenden Gase gefüllt und horizontal auf einen Träger *C* unter eine mit feuchtem Filtrierpapier ausgekleidete Glocke *H* gebracht. Die Glocke ruhte mit ihrem unteren Rande *K* auf einem Holzkreuze *B*, welches in der großen Zinkblechwanne *A* lag, und ließ so einen kleinen Zwischenraum zwischen der bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser gefüllten Zinkblechwanne *A* und dem Glockenrande *K* frei. Zur Beobachtung der Wurzeln, die vertikal vor dem Spalte *F* in Entfernungen von 0,5, 2,5, 5 und 8 cm abwärts wuchsen, hatte ich ein Fenster im Filtrierpapier angebracht, um jederzeit beobachten zu können. Zur vollen Dampfsättigung unter der Glocke wurde der Abstand zwischen Glockenrand *K* und Wasserfläche in der großen Zinkblechwanne *A* mit feuchtem Filtrierpapier überdeckt, und die volle Dampfsättigung durch ein Haarhygrometer kontrolliert.

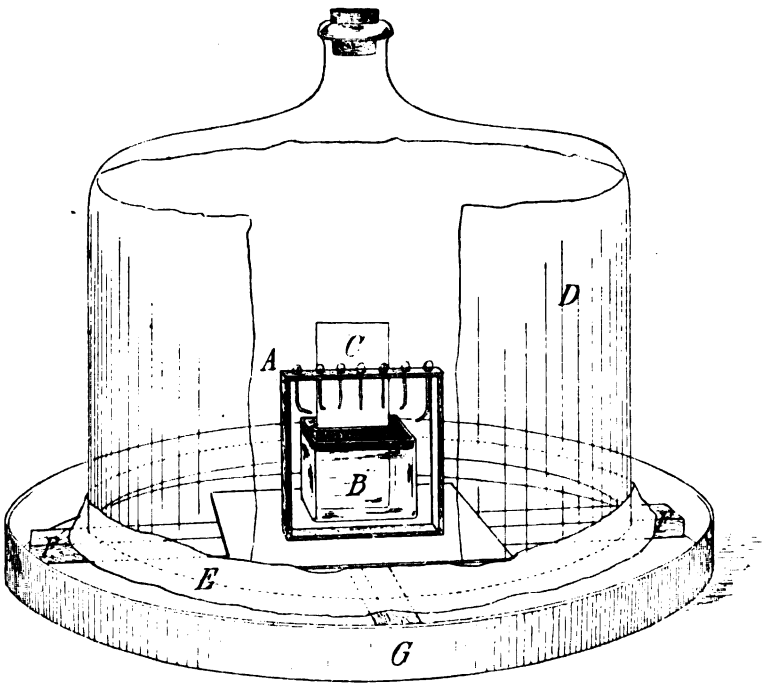
Die Füllung des Zylinders *D* mit dem Versuchsgase mußte während einer Versuchsdauer von 24 Stunden jedesmal nach 5 bis 6 Stunden wiederholt werden, was durch Zuleitung durch die Röhre *E* möglich war.

Das zu den Sauerstoffversuchen verwendete Gas wurde einer Bombe entnommen und zunächst durch zwei mit Bimsteinstückchen gefüllte U-Röhren, die mit Kalilauge befeuchtet waren, in einen Gasometer geleitet. Bei Versuchen mit Kohlensäure oder Wasserstoff wurde das bei ersterem aus Marmor und reiner Salzsäure, bei letzterem aus reinem Zink und verdünnter reiner Schwefelsäure erzeugte Gas in zwei Waschflaschen mit destilliertem Wasser gewaschen und dann direkt zur Füllung des Apparates verwandt. Hierbei ist aber zu beachten, daß die Luft unter der Glocke reicher an CO_2, O_2 usw. wurde, daß also in derselben die Konzentrationsdifferenz mit der Zeit abnahm.

Ferner wurde der oben beschriebene Apparat zu den mit Äther, Alkohol, Aceton usw. angestellten Interdiffusionsversuchen verwendet. Hierbei wurden die flüchtigen Stoffe in bestimmten Mengen in Wasser gelöst und die Mischung durch die Glasröhre *E* des Korkes in den Apparat gefüllt. Infolge der guten Verdichtung des Korkes konnte die bis nahe an die Öffnung *F* reichende Flüssigkeitsmenge nicht

herausfließen. Die Lage und Anordnung war sonst die gleiche, wie bei den mit Gasen ausgeführten Versuchen.

Ferner wurden in folgender Weise Versuche mit Äther, Alkohol, Aceton usw. angestellt, bei welchen die Wurzeln stets 5 cm von der Stoffquelle entfernt standen.



Figur 3.

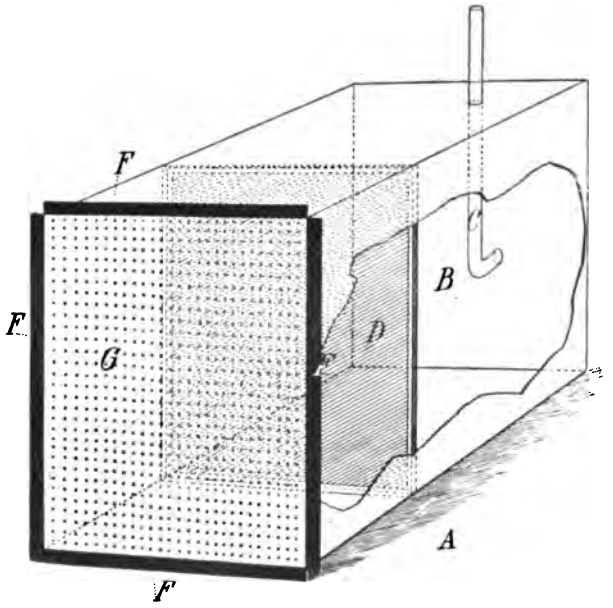
A Holzrahmen, auf dem sich die Wurzeln befinden. *B* Küvette aus Glas, durch Kork verschlossen, in welchem ein Spalt sich befindet. *C* die durch den Spalt in die Küvette *B* gestellte, mit Filtrierpapier überzogene Glasscheibe. *D* Glocke, mit feuchtem Filtrierpapier ausgekleidet. *E* Filtrierpapierstreifen, welche den Abstand zwischen Glockenrand und Wasserfläche in der Zinkblechwanne *G* verdecken. *F* Holzkreuz, auf welchem die Glocke *D* ruht. *G* Zinkblechwanne, bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser gefüllt.

Ein Holzrahmen *A*, dessen oberes Brett mit Löchern versehen war, in denen die Wurzeln befestigt wurden, wurde gegenüber einer Küvette *B* aufgestellt. Die Kotyledonen der Pflanzen wurden wie früher mit Watte umwickelt, und die Wurzeln bis 0,75 cm von der Spitze mit feuchtem Seidenpapier umgeben. Die bis zu $^3/_4$ ihrer Höhe mit der betreffenden Flüssigkeit gefüllte Küvette *B* von 12 : 12 : 3 cm wurde mit einem Kork verschlossen, in welchem sich ein Spalt von 10 cm Länge und 0,5 cm Breite befand. Durch

diesen wurde eine Glasscheibe *C* gestellt, die mit fünffachem Filtrierpapier überzogen war, welches bis auf den Grund der Küvette *B* reichte. Auf diese Weise standen also die Wurzeln parallel zu der mit Filtrierpapier überzogenen Glaswand in einem Abstand von 5 cm. Infolge der Kapillarität des Filtrierpapiers stieg die Flüssigkeit in die Höhe, und die gelösten Stoffe gingen somit dauernd in die Luft über und trafen so gegen die auf dem Rahmen befindlichen Wurzeln. Der ganze Apparat wurde unter einer geräumigen Glocke aufgestellt (siehe Fig. 3).

2. Versuche mit Gasströmen.

Bei Versuchen mit Massenströmung von Gasen wurden folgende Apparate verwendet:



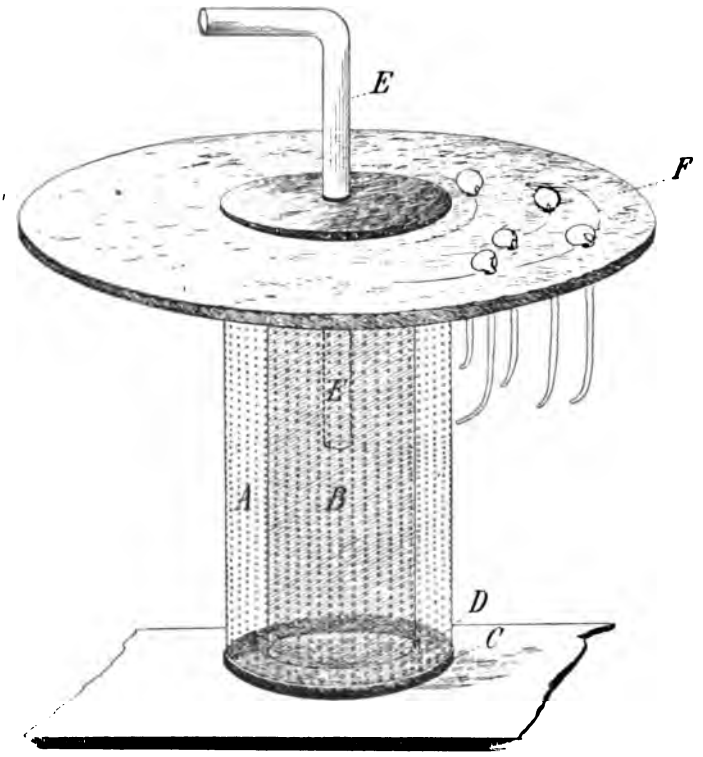
Figur 4.

A verstellbarer Tisch. *B* Zinkblechkasten. *C* Zuleitungsrohr für Gase. *D* auf einen Rahmen gespannter Seidenstoff. *F* umgebogener Rand des Zinkblechkastens. *G* Durchlochte Glimmerplatte.

In einem viereckigen Zinkblechkasten *B* von 10 : 10 : 8 cm war bis in die Mitte des Kastens eine Messingröhre *C* geführt, deren Ende der hinteren Wand zugebogen war. 6 cm von der Hinterwand entfernt, parallel dieser, war eine Wand aus Seidenstoff *D* mittels eines dichtschließenden Rahmens angebracht. Die offene

Vorderseite des Kastens B wurde darauf durch eine mit einer Nadel gleichmäßig durchlochte Glimmerplatte G geschlossen, die auf dem nach allen Seiten umgebogenen Rande F des Zinkblechkastens B mittels Siegellackes befestigt wurde.

Ein anderer Apparat (siehe Fig. 5) wurde folgendermaßen hergestellt:

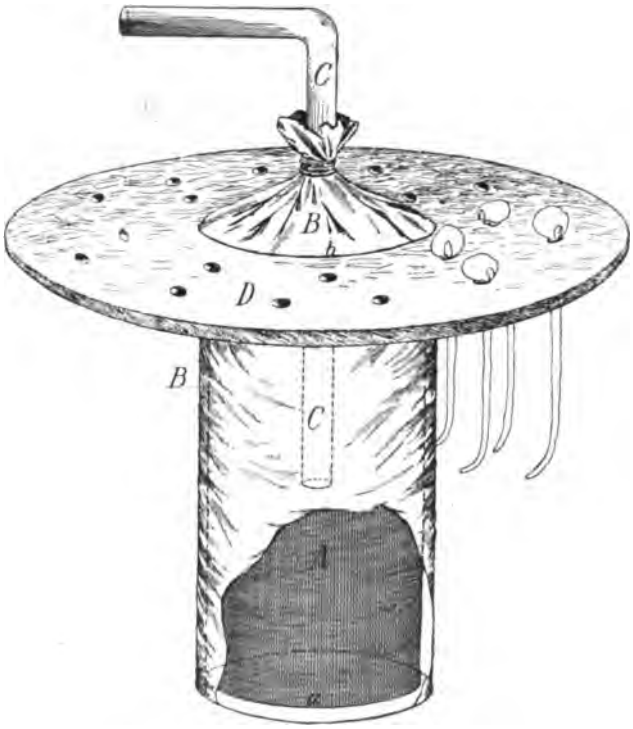


Figur 5.

A durchlochter Glimmerzylinder. B ein Seidenstoffzylinder, in ersterem befindlich. C Verschlußkork (oben nicht zu sehen). D 2 Korkringe, dazwischen der Seidenstoff geklemmt und auf die Verschlußkorke aufgeleimt. E Zuleitungsrohr. F Korkring mit 3 Reihen Löchern in verschiedenen Abständen.

Ein Glimmerzylinder A, 10 : 4 cm, wurde gleichmäßig durchlocht und unten mit einer Korkscheibe C verschlossen. In diesem Zylinder A stand ein zweiter Zylinder B aus Seidenstoff, welcher oben und unten zwischen je zwei Korkringen D eingeklemmt war. Letztere waren durch Kollodium gedichtet. Die beiden Korkringe waren oben und unten auf die Verschlußkorke C des Außenzylinders aufgeleimt. Zwischen beiden Zylindern A und B war ein Abstand

von 1 cm. Ferner führte eine Glasröhre *E* durch den oberen Verschlußkork des Zylinders *A* bis in die Mitte des Seidenzylinders *B*. Am oberen Rande des Glimmerzylinders *A* wurde ein Korkring *F* von 15 cm Durchmesser und 0,25 cm Stärke angebracht, der mit drei Reihen Löchern versehen war, in denen die Wurzeln mittels Watte befestigt wurden. Der Apparat wurde nun an der Glasröhre *E*, welche oben herausragte, mit einer Klemme gefaßt und an einem Stativ so aufgehängt, daß die Wurzeln parallel der durchlochten Glimmerfläche standen und vertikal abwärts gerichtet waren.



Figur 6.

A Drahtzylinder, bei *a* und *b* mit Blechscheiben zugelötet. *B* Sack aus dichtem Stoff. *C* Röhre zum Zuleiten der Gase. *D* Korkscheibe mit 3 Reihen Löchern versehen.

Außerdem wurden noch Versuche mit einem Zylinder angestellt, der aus feinmaschigem Draht (siehe Fig. 6) hergestellt war.

Derselbe war 12 cm hoch und 4 cm breit. Oben und unten war dieser Zylindermantel bei *a* und *b* mit runden Blechscheiben

[illegible]

[illegible]

[illegible] Konzentrationsanstalt [illegible] und es bildet [illegible] Glocke [illegible] ein völlig homogenes [illegible] wodurch die Bedingungen der [illegible] Folgung nach und nach verschwinden.

Gehen wir nun auf die nach der Mölisch'schen Methode erhaltenen Erfolge etwas näher ein, so zeigt sich, daß bei den Kohlensäureversuchen zunächst eine schwache Zukrümmung eintritt, die aber bald durch Verringerung des Diffusionsgefälles im Medium zurückgeht, da sich, wie schon gesagt, eine homogenere Kohlensäureverteilung herausbildet. Es ist also Bedingung, ein Konzentrationsgefälle zu schaffen, welches möglichst lange annähernd konstant bleibt. Durch die folgende Versuchsanstellung ist ein ziemlich dauerndes Gefälle gesichert. In eine große, runde Blechwanne von 6 cm Höhe (siehe Fig. 2 und 3) wurde ein Holzkreuz gelegt. Hierauf wurde die mit feuchtem Filtrierpapier ausgekleidete Glasglocke gestellt. Unter letztere setzte ich die oben beschriebenen Apparate auf eine Holzscheibe, die in der Mitte des Holzkreuzes aufgenagelt war. Durch die so getroffene Anordnung wurde eine zu ansehnliche Häufung des Gases unter der Glocke vermieden, da zwischen Glockenrand und Wasserfläche in der Wanne ein gewisser Abstand blieb. Dieser wurde, um eine konstante Dampfsättigung des Glockenraumes zu erhalten, mit feuchtem Filtrierpapier überdeckt.

Zur Verstärkung des Konzentrationsgefälles wurde zur Absorption der Kohlensäure eine größere Schale mit 10proz. Kalilauge unter die Glocke gestellt. Eine höhere Konzentration der Kalilauge konnte nicht angewendet werden, da sonst die Dampfspannung unter der Glocke zu stark herabgedrückt worden wäre. Bei Versuchen mit Sauerstoff wurde unter die Glocke ein Gefäß mit Pyrogallol, Kalilauge und Wasser gebracht.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Bei den Interdiffusionsversuchen mit Sauerstoff, Kohlensäure usw. wird ferner ein Fehler dadurch herbeigeführt, daß sich die Menge des Versuchsgases im Zylinder ändert, und sich somit auch die Diffusionsmenge vermindert.

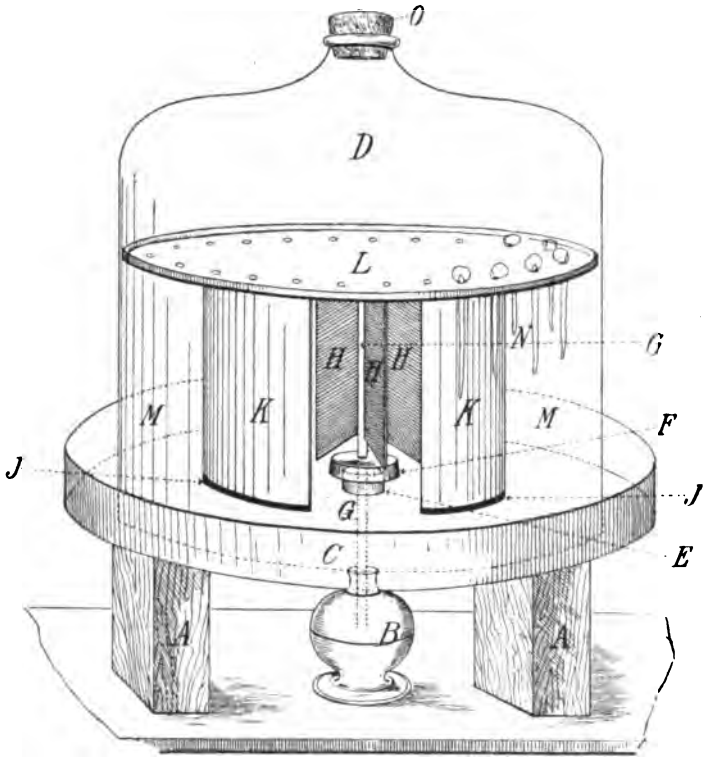
Bei Versuchen mit Alkohol, Äther, Aceton usw. wird dieser Fehler geringer, weil bei der großen Menge der eingefüllten Lösung die Konzentration dieser, und somit des Dampfes von Äther, Alkohol usw., im Zylinder nur langsam abnahm.

Bei Massenströmungsversuchen sind obige Fehler in gleicher Weise in Betracht zu ziehen. Zur Erzeugung eines Stromes von Sauerstoff wurde dieser aus dem Gasometer in einem langsamen Strome (25 Blasen in der Minute) durch den Zinkblechkasten mit der Glimmerplatte gegen die auf einer durchlochten Korkscheibe in verschiedenen Abständen stehenden Wurzeln geleitet (siehe Fig. 4). Die Aufstellung des Apparates war sonst die gleiche, wie bei den Interdiffusionsversuchen. Bei Versuchen mit Kohlensäure und Wasserstoff wurde der Zinkblechkasten mit der Glimmerplatte direkt mit dem Kohlensäure- resp. Wasserstoffapparat verbunden, und das Gas in zwei zwischengeschalteten Waschflaschen gewaschen. Auch hier betrug die Strömungsschnelligkeit der Gase zirka 25 Blasen in der Minute.

Bei Massenströmungsversuchen trat die Frage auf, ob etwa, analog wie beim Rheotropismus, ein tropistischer Effekt dadurch erzielt wird, daß ein dampfgesättigter Luftstrom eine Reizkrümmung hervorzubringen imstande ist.

Dieses ist aber faktisch nicht der Fall. Denn wenn man gegen die Wurzeln einen völlig dampfgesättigten Luftstrom wirken läßt, tritt keine Reaktionskrümmung ein, gleichviel ob sich die Luft nur langsam, 20 cm in der Sekunde, oder mit einer Schnelligkeit von 2 m in der Sekunde bewegt. Bei einem Teil dieser Versuche wurde der Luftstrom durch einen Stammerschen Aspirator oder ein Wassertrommelgebläse erzeugt und gegen die unter einem feuchten Zylinder befindlichen Wurzeln geleitet. Dadurch, daß die Luft lange Bleiröhren, welche im Wasser lagen, und dann lange Glasröhren mit nassen Bimsteinstücken passierte, wurde dafür gesorgt, daß dieselbe eine bestimmte Temperatur und volle Dampfsättigung annahm. Ist letztere nicht vorhanden, so tritt begreiflicherweise eine hydrotropische Krümmung ein, weil bei dem Einströmen in dampfgesättigte Luft die hydrotropischen Reizbedingungen geschaffen werden. Um das zu vermeiden, muß auch die Temperatur der zuströmenden Luft mit der im Versuchsraume genau übereinstimmen.

Das gleiche Resultat wurde auch erhalten, als mit Hilfe eines Apparates, dessen Konstruktion aus Fig. 7 und der Erklärung ersichtlich ist, unter einer Glocke eine konstant gerichtete Luftbewegung erzeugt wurde. Auf diese Weise befanden sich dann die Objekte in einer konstant dampfgesättigten Luft, die mit gewünschter Schnelligkeit gegen die feststehenden Wurzeln getrieben wurde.



Figur 7.

A Gestell aus Gipsdielen. *B* Elektromotor. *C* Zinkblechwanne, mit Wasser gefüllt. *D* In dieser steht die mit einem Kork *O* versehene Glasglocke *D*. *E* ein in der Mitte der Zinkblechwanne *C* aufgelöteter Ring aus Zinkblech, durch welchen die Achse *G* geht, an der die Windflügel *H* befestigt sind. *F* eine über den Ring *E* reichende Glocke aus Zinkblech, welche an der Achse *G* angelötet ist. Der untere Rand dieser Glocke reicht in das Wasser der Wanne *C* und bildet so den Abschluß der Wasserfläche mit der Luft in der Glocke *D*. *G* Achse (zentriert) mit den Windflügeln *H*. *J* aufgelöteter Rand aus Zinkblech, dient zum Festhalten des Zinkblechzylinders *K*. *K* der an einer Seite geöffnete Zinkblechzylinder. Durch den Ausschnitt tritt der Luftstrom, welcher durch die Windflügel erzeugt wird, in den Raum *M*. *L* eine mit einem flachen Rande versehene Zinkblechscheibe, welche mit einem flachen Zinkblechkranz auf der Unterseite versehen ist, der in den Zinkblechzylinder *K* hineinpaßt. *M* Raum zwischen dem Zinkblechzylinder *K* und der Glasglockenwand. *N* Wurzeln, deren Kotyledonen in Sägespänen in *L* eingebettet sind, und deren eigentliche Wurzeln in den Raum *M* hineinragen.

4. Mitteilung der Resultate.

Auch hier wurden die früher angegebenen Pflanzen, und besonders wieder die Wurzeln von *Lupinus albus*, verwandt. Die verschiedenen Versuche betrafen:

1. Die Einwirkung der Interdiffusion der Dämpfe von:
   a) Äthylalkohol,
   b) Methylalkohol,
   c) Äther,
   d) Aceton,
   e) Ammoniak,
   f) Essigsäure,
   g) Terpentinöl,
   h) Petroleum.

2. Die einseitige Einwirkung von Sauerstoff, Kohlensäure und Wasserstoff sowohl bei Interdiffusion als bei Massenströmung der Gase.

3. Die Einwirkung von Sauerstoff, Kohlensäure und Wasserstoffgas, so daß zwei Gasarten auf einmal aus entgegengesetzten Richtungen auf die Wurzeln strömten.

Tabelle 6.

Reaktionen und Wirkungen der Dämpfe verschiedener Stoffe bei verschiedenen Konzentrationen auf Wurzeln von *Lupinus albus*. Die Kolumne 2 gibt an, wie viel von dem Stoffe in dem Wasser in 100 Teilen gelöst ist. Der Abstand der Wurzeln von der Fläche beträgt 5 cm. Temperatur 18° C. Die Abweichungen der Wurzeln von der Vertikalen sind in Graden angegeben (Versuchsanstellung nach Fig. 3, p. 18).

Bezeichnung des Stoffes nach Nr. und Namen	Prozent-Angabe in 100 Teilen	Erfolg nach 12 Stunden, Ablenkung in Graden	Erfolg nach 24 Stunden, Ablenkung in Graden	Erfolg nach 48 Stunden, Ablenkung in Graden
1. Äthylalkohol	95	die Wurzeln starben nach 5—6 Std. ab	—	—
„	50	die Wurzeln zeigten gute positive Krümmungen	gute + Krümmungen bis 80°	werden krankhaft und sind nach 72 Std. tot
„	25	die Krümmungen waren schwächer als bei 50% Alkohol	gute + Krümmungen bis 50°	sehr gute + Krümmungen, 2 Wurzeln haben die Fläche erreicht und wachsen darauf weiter
2. Methylalkohol	50	gute + Krümmungen	gute + Krümmungen bis 90°	sind krank
„	20	geringere + „	gute + Krümmungen bis 60°	gute + Krümmungen bis 90°, einige Wurzeln sind bis an die Fläche herangewachsen.
„	10	schwache + „	gute + Krümmungen bis 50°	

(Fortsetzung der Tabelle 6.)

Bezeichnung des Stoffes nach Nr. und Namen	Prozent-Angabe in 100 Teilen	Erfolg nach 12 Stunden, Ablenkung in Graden	Erfolg nach 24 Stunden, Ablenkung in Graden	Erfolg nach 48 Stunden, Ablenkung in Graden
3. Ätherwasser	8	sind krank und krümmen wenig positiv	sind tot	—
„	4	gute + Krümmungen	sind krankhaft	sind tot
„	2	geringe + „	krümmen sehr gut + bis 90°	krümmen an die Fläche heran und wachsen nach 72 Std. in die Flüssigkeit hinein
„	1	ganz schwache + „		
4. Aceton	50	gute + Krümmungen		sind krank
„	25	sehr gute + „	gute + Krümmungen bis 90°	krümmen und wachsen sehr gut; versch. Wurzeln wachsen an der Fläche herab in die Flüssigkeit hinein und sind dabei gesund
„	12,5	gute + „		
„	5	schwache + „		
5. Ammoniak	0,2	starben nach 2 Std. ab	—	—
„	0,1	starben nach 5 Std. ab	sind tot	—
„	0,05	4 Wurzeln waren abgestorben während 3 Wurzeln + krümmten		
6. Essigsäure	5	gute + Krümmungen	sind tot	—
„	2,5	sehr gute + „	sind krankhaft	sind tot
„	1	schwächere + „	sehr gute + Krümmungen bis 90°	zeigen sehr gute + Krümmungen, doch wird das Wachstum sehr verringert
7. Terpentinöl	5 Tropfen auf 100 ccm	schwache Zukrümmungen	sind krankhaft	sind tot
8. Petroleum	konzentr.	schwellen keulenförmig an u. krümmen nicht	sind tot	—

Zu vorstehender Tabelle ist zu bemerken, daß zu jedem einzelnen Versuche 7 Wurzeln verwendet wurden, und zwar standen dieselben 5 cm von der Fläche entfernt in einer Reihe (siehe Fig. 3, p. 18).

Da die Dampfmenge und somit die Reizwirkung mit der Entfernung von der abgebenden Fläche abnehmen, so ist klar, daß bei den mit den Apparaten Fig. 2 und 3 ausgeführten Versuchen die seitlich stehenden Wurzeln schwächer reagieren. Es ist das unter anderm aus der folgenden Tabelle 7 zu ersehen, in welcher die Lage der Öffnung des Zylinders der Fig. 2 und, durch die Rechtecke, die Stellung der einzelnen Wurzeln vor der Öffnung des Zylinders angezeigt ist. Die Zahlen in der Tabelle geben die Ablenkung der Wurzeln von der Vertikalrichtung in Graden an.

Tabelle 7.

Versuchsobjekte = Wurzeln von *Lupinus albus*.
Versuchsdauer = 12 Stunden. Äthylalkohol 50 %.

Abstand der Wurzel von der Fläche	Kork	Öffnung des Zylinders nach Molisch, mit Seidenpapier überzogen		Kork
½ cm	+ 35°	— 25°	— 25°	+ 25°
2,5 cm	+ 20°	— 10°	+ 15°	
5 cm	+ 40°	+ 50°	+ 45°	+ 45°
8 cm	+ 20°	+ 30°	+ 30°	

Wie Molisch angibt, erzielte er bei Anwendung von Sauerstoffinterdiffusion positive Krümmungen. Diese Angaben kann ich nur bestätigen und füge noch hinzu, daß auch bei einem Sauerstoffstrom stets eine positive Wurzelreaktion erhalten wurde.

Tabelle 8.

Für Sauerstoffinterdiffusion und Sauerstoffstrom. Versuchsobjekte = Wurzeln von *Lupinus albus*. Temperatur 18° C.

Abstände von der Quelle in cm	Sauerstoffinterdiffusion mit Zylinder nach Molisch; Fig. 2, p. 16				
	nach 1 Stunde	nach 12 Stunden	nach 24 Stunden	Abweichung von der Vertikalen	Bemerkungen
½ cm	4 = +	4 = +	4 = +	bis 40°	die Wurzeln waren an die Fläche herangewachsen
2,5 „	2 = + 1 = 0	3 = +	3 = +	bis 50°	Zuwachs sehr bedeutend, 3—4 cm innerhalb 24 Stunden
5 „	4 = 0	3 = + 1 = 0	4 = +	bis 60°	
8 „	3 = 0	1 = + 2 = 0	2 = + 1 = 0	bis 25°	

Abstände von der Quelle in cm	Sauerstoffströmung mit Zinkblechkasten mit Glimmerplatte; Fig. 4, p. 19				
	nach 1 Stunde	nach 12 Stunden	nach 24 Stunden	Abweichung von der Vertikalen	Bemerkungen
½ cm	4 = +	4 = +	4 = +	bis 40°	die Wurzeln waren an die Fläche herangewachsen
2,5 „	4 = +	4 = +	4 = +	bis 70°	Zuwachs innerhalb 24 Stunden 2—4 cm
5 „	4 = +	4 = +	4 = +	bis 90°	
8 „	2 = + 2 = 0	4 = +	4 = +	bis 50°	

Mit Kohlensäure erhielt ich Resultate, die von den Molischschen Angaben etwas abweichen. In der Nähe der Kohlensäurequelle trat bei den von mir untersuchten Objekten, ebenso wie es Molisch fand, zunächst eine schwache positive Krümmung ein, die aber allmählich unter Wachstumsverzögerung in eine negative überging. Bei solchen Wurzeln, die weiter von der Kohlensäurequelle entfernt standen, ließ sich nur positive Krümmung erkennen. In noch größerer Entfernung war zunächst keine und erst nach Verlauf von zirka 5 Stunden eine schwach positive Krümmung zu bemerken. Gegenüber der Einwirkung eines Kohlensäurestromes verhielten sich die Wurzeln ähnlich; nur traten die Reaktionen früher ein und waren viel stärker.

Tabelle 9.

Mit Kohlensäureinterdiffusion durch den Molischschen Zylinder.
Temperatur 18° C. Versuchsdauer 12 Stunden.

Abstände der Wurzeln von der Fläche in cm angegeb.	*Lupinus albus*				*Vicia sativa*			
	nach 1 Std.	nach 6 Std.	nach 12 Std.	Abweichung der Wurzeln von der Vertikalen in Graden bis zu	nach 1 Std.	nach 6 Std.	nach 12 Std.	Abweichung der Wurzeln von der Vertikalen in Graden bis zu
½ cm	4 = +	2 = +	1 = +	− 30°	4 = +	3 = −;	3 = −	+ 10°
		2 = −	2 = −	+ 20°		1 = +	1 = +	− 25°
			1 = 0			ist krank		
2,5 „	3 = +	3 = +	3 = +	+ 50°	3 = +	3 = +	3 = +	+ 50°
5 „	4 = 0	4 = +	4 = +	+ 45°	3 = +	4 = +	4 = +	+ 60°
					1 = 0			
8 „	3 = 0	1 = +	3 = +	+ 35°	2 = +	3 = +	3 = +	+ 45°
		2 = 0			2 = 0			
	Pisum sativum				*Zea mais*			
½ cm	3 = +	3 = −	3 = −	+ 40°	2 = +	3 = −	4 = −	− 25°
	1 = −	1 = +	1 = +	− 35°	2 = −	1 = +		
2,5 „	2 = +	3 = +	3 = +	+ 35°	2 = +	1 = −	1 = −	+ 65°
	1 = 0				1 = −	2 = +	2 = +	
5 „	4 = 0	4 = +	4 = +	+ 40°	3 = +	4 = +	4 = +	+ 50°
					1 = 0			
8 „	1 = −	2 = +	3 = +	+ 25°	2 = 0	3 = +	3 = +	+ 35°
	2 = 0	1 = 0			1 = +			

Tabelle 10.

Strömende Kohlensäure durch den Zinkblechkasten (siehe Fig. 4, p. 19).
Versuchsdauer 24 Stunden. Temperatur 18° C.

Abstände der Wurzeln von der Fläche in cm angegeb.	*Lupinus albus*					*Vicia sativa*				
	nach 1 Std.	nach 6 Std.	nach 12 Std.	nach 24 Std.	Abweichung der Wurzeln von der Vertikalen in Graden bis zu	nach 1 Std.	nach 6 Std.	nach 12 Std.	nach 24 Std.	Abweichung der Wurzeln von der Vertikalen in Graden bis zu
$^1/_2$ cm	2 = − 1 = + 1 = 0	4 = −	4 = −	4 = −	− 35°	4 = −	4 = −	4 = −	4 = −	− 45°
2,5 „	3 = +	3 = +	3 = +	2 = + 1 = −	+ 40° − 10°	3 = +	3 = +	3 = +	3 = +	+ 25°
5 „	4 = +	4 = +	4 = +	4 = +	+ 70°	4 = +	4 = +	4 = +	4 = +	+ 90°
8 „	2 = + 1 = 0	3 = +	3 = +	3 = +	+ 50°	2 = + 1 = 0	3 = +	3 = +	3 = +	+ 60°

Um auf Wurzeln zwei strömende Gase von entgegengesetzter Richtung wirken zu lassen, wurden die Versuchsobjekte zwischen zwei der in Fig. 4, p. 19 abgebildeten Apparate gebracht. Dabei wurden die Gasströme gleich, d. h. so reguliert, daß etwa 25 Gasblasen in der Minute durch die Waschflaschen schlugen.

Die Erfolge entsprechen durchaus den Erwartungen. Strömen z. B. Sauerstoff und Kohlensäure gegeneinander, so pflegen sich die der Ausströmungsfläche näheren Wurzeln zunächst sowohl gegen den Sauerstoff, als gegen die Kohlensäure positiv zu krümmen. Mit der Zeit treten dann zumeist gegenüber der Kohlensäure einige negative Krümmungen auf, und in der Regel macht sich die Wirkung des Sauerstoffs damit bemerkbar, daß alle Wurzeln sich nach dem Sauerstoff positiv krümmen, daß also die chemotropische Wirkung der verdünnteren Kohlensäure nicht zur Geltung kommt.

Läßt man Sauerstoff und Wasserstoff gegeneinander wirken, so erhält man nur positiv nach dem Sauerstoff gerichtete Krümmungen. Es rührt dieses offenbar daher, daß der Wasserstoff an sich keine Reizwirkung ausübte.

Die im vorstehenden erwähnten Resultate bezogen sich auf intakte Wurzeln. Aus den folgenden Tabellen sind ferner die Einwirkungen zu ersehen, die von einem der genannten Gase sowohl bei Interdiffusion als bei Massenströmung an dekapitierten Wurzeln hervorgerufen werden.

Tabelle 11.

Versuch mit dekapitierten Wurzeln von *Lupinus albus*.
Versuchsapparate: Zylinder nach Molisch (siehe Fig. 2, p. 16) und Zinkblechkasten mit Glimmerplatte (siehe Fig. 4, p. 19). Versuchsdauer 12 Stunden.

Bezeichnung der Wurzeln nach fortlauf. Nummern	Wurzelabstände von der Fläche	Angabe des dekapitierten Spitzenteiles in mm	Diffundierender Sauerstoff		Diffundierende Kohlensäure		Strömender Sauerstoff		Strömender Wasserstoff	
			Bezeichnung der Krümmung	Angabe der Abweichung in Graden	Bezeichnung der Krümmung	Angabe der Abweichung in Graden	Bezeichnung der Krümmung	Angabe der Abweichung in Graden	Bezeichnung der Krümmung	Angabe der Abweichung in Graden
1	½ cm	1 mm	+	45°	—	−30°	+	40°	—	−10°
2		2 „	+	35°	—	−30°	+	15°	0	0
3		3 „	+	20°	+	+10°	+	25°	—	−15°
4		4 „	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2,5 cm	1 „	+	60°	+	+25°	+	90°	0	0
6		2 „	+	60°	+	+35°	+	70°	0	0
7		3 „	+	20°	+	+45°	+	30°	0	0
8	5 cm	1 „	+	55°	+	+70°	+	60°	0	0
9		2 „	+	60°	+	+50°	+	50°	0	0
10		3 „	+	30°	+	+20°	+	30°	0	0
11		4 „	0	0	0	0	0	0	0	0
12	8 cm	1 „	+	35°	+	+30°	+	45°	0	0
13		2 „	+	30°	+	+45°	+	30°	0	0
14		3 „	0	0	+	+10°	+	10°	0	0

Tabelle 12.

Versuch mit dekapitierten Wurzeln von *Lupinus albus*. Versuchsapparat Nr. 3 (p. 18). Zimmertemperatur 18° C.

Bezeichnung des Stoffes	Angabe des abgeschn. Spitzenteiles in mm	Abstand von der verdampf. Fläche	Bezeichnung der + und indifferenten Krümmungen	Abweichung der Wurzel von der Vertikalen in Graden	Bemerkungen
Äthylalkohol 50 %	1 mm	5 cm	7 = +	70°	Die seitlich der Fläche stehenden Wurzeln krümmen ganz schwach
	2 „	5 „	6 = +, 1 = 0	50°	
	3 „	5 „	4 = +, 3 = 0	20°	
	4 „	5 „	7 = 0	0	
Ätherwasser 4 %	1 mm	5 cm	7 = +	90°	Die seitlich der Fläche stehenden Wurzeln krümmen ganz schwach
	2 „	5 „	7 = +	75°	
	3 „	5 „	5 = +, 2 = 0	30°	
	4 „	5 „	5 = 0, 2 = +	30°	

5. Diskussion der Versuche mit Wurzeln.

Aus obigen Versuchen geht hervor, daß sowohl mit Gasen als mit flüchtigen Stoffen Reizkrümmungen erzielt wurden. Diese sind chemotropische, denn dieselben traten auch dann ein, wenn der Raum dampfgesättigt war. Ebenso beweisen die Versuche mit dekapitierten Wurzeln, daß es sich nicht um Hydrotropismus handeln kann, denn dieser wird, wie verschiedene Autoren[1]) feststellten, nur in der Wurzelspitze perzipiert.

Ebenso war aber auch, wie gezeigt wurde, durch Luftströmung als solche kein tropistischer Erfolg zu erreichen.

Also kann es sich ebensowohl bei Interdiffusion als auch da, wo Konzentrationsgefälle durch Strömung mit Gasen unterhalten wurden, nur um chemotropische Effekte handeln.

Allerdings wird in einer Arbeit von Miß Bennet[2]), die nach Abschluß meiner Versuche erschien, die tropistische Reizung durch Gase wie Sauerstoff und Kohlensäure geleugnet und der Erfolg der Versuche von Molisch auf Hydrotropismus geschoben. Offenbar liegt hierbei aber ein Irrtum vor. Die Ursache liegt wohl darin, daß die von Bennet verwendeten Membranen nicht genügend Gas durchließen, denn faktisch habe auch ich mit solchen Membranen keine tropistischen Reaktionen erhalten. Inwieweit mit dem anderen von Miß Bennet[3]) benutzten Apparat Erfolge zu erzielen sind, muß dahingestellt bleiben.

b) Versuche mit Sprossen.

Auch hier wurden mit sämtlichen angeführten Stoffen Versuche angestellt und gefunden, daß die in kleinen Holzkästchen von 6 : 6 : 5 cm in Erde wachsenden Pflänzchen von *Triticum vulgare*, *Avena sativa*, *Brassica napus*, *Sinapis alba*, *Vicia sativa* auf Sauerstoff, Kohlensäure und Wasserstoff, sowohl bei Interdiffusion als Massenströmung, nicht reagierten; während dieselben Versuchsobjekte, vor die Öffnung eines Zylinders nach Molisch gestellt, auf flüchtige Stoffe mit einer Reizkrümmung antworteten.

---

1) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, II. Aufl., Bd. II, p. 605. Desgl. Darwin, Das Bewegungsvermögen der Pflanzen, 1881, p. 154. Desgl. Rothert, Flora 1894, Ergänzungsbd., p. 208. Desgl. Molisch, Sitzungsbericht der Wiener Akademie, 1883, Bd. 88, Abt. I, p. 897. Desgl. Czapek, Jahrb. f. wiss. Botan., 1900, Bd. XXXV, p. 316.

2) Miß Bennet, Are roots aerotropic. Botanical Gazette, 1904, p. 212.

3) a. a. O., p. 249, Fig. 3.

Die Versuchsanstellung war folgende:

Die in kleinen Holzkästchen in verschiedenen Abständen stehenden Sprosse wurden in dem Apparate Fig. 2 so aufgestellt, daß sie vor die Öffnung (*F*) zu stehen kamen, aus welcher die Dämpfe hervortraten. Über alles wurde wieder die mit Filtrierpapier ausgekleidete Glocke gestellt, die auf dem Holzkreuz in der Zinkblechwanne aufstand und so einen Zwischenraum zwischen Glocke und Wasser freiließ, der mit feuchtem Filtrierpapier bedeckt war.

Die Pflanzen, welche eine Länge von 1—2 cm hatten, zeigten innerhalb 12 Stunden folgende Reaktionen:

Tabelle 13.

Brassica	*napus*	gegen	8 %	Ätherwasser,	wurde krank.
„	„	„	4 „	„	negative Krümmungen.
„	„	„	2 „	„	„ „
„	„	„	1 „	„	fast keine negativen Krümmungen.
„	„	„	90 „	Alkohol,	die Sprosse wurden sehr schnell krank.
„	„	„	50 „	„	negative Krümmungen.
„	„	„	25 „	„	„ „
„	„	„	10 „	„	fast keine negativen Krümmungen.
„	„	„	5 „	„	keine Reaktion.

Die mit *Avena* und *Triticum* angestellten Versuche ergaben dieselben Resultate, jedoch fielen die Reaktionen geringer aus.

Die Sprosse weichen also darin von den Wurzeln ab, daß bei diesen bei mäßiger Einwirkung eine positive, bei stärkerer Einwirkung der Dämpfe eine negative Krümmung erhalten wird, während die Stengel in allen Fällen nur eine negativ gerichtete Reaktion ergaben. Da diese erst bei höherer Konzentration der Dämpfe eintrat, so ist es begreiflich, daß mit der Reaktion zumeist eine merkliche und zum Teil ansehnliche Wachstumshemmung verknüpft war.

Eine weitere Differenz gegen die Wurzeln besteht darin, daß diese, aber nicht die Sprosse, durch Kohlensäure und Sauerstoff zu tropistischen Krümmungen veranlaßt werden. Denn in allen Experimenten, auf die ich hier nicht näher eingehe, wurde bei einseitiger Einwirkung der genannten Gase keine Krümmungsreaktion erzielt.

c) Versuche mit Sporangiumträgern von *Phycomyces*.

Der in Reinkulturen auf Rübenschnitten gezogene Pilz wurde, nachdem er Fruchtträger gebildet hatte, abgeschnitten. Die zweiten

kräftigeren, durch eine durchlochte Glimmerplatte wachsenden Fruchtträger wurden dann als Objekte benutzt.

Die Versuchsanordnung war dieselbe wie bei den Sprossen (vgl. Fig. 2).

Tabelle 14.

Phycomyces niteus,	gegen	4 %	Ätherwasser,	keine	Krümmungen.	
„	„	„ 2	„	„	„	„
„	„	„ 1	„	„	„	„
„	„	„ 50	„	Alkohol	„	„
„	„	„ 25	„	„	„	„
„	„	„ 10	„	„	„	„

Gase wie Sauerstoff usw. bewirkten ebenfalls keine Krümmungen. In gleicher Weise bewirkten Luft im Zylinder nach Molisch und Luftströme, sobald die Bedingung der Dampfsättigung erfüllt war, niemals eine Krümmung der Sporangienträger.

Diese negativen Resultate mit *Phycomyces* sind ein beachtenswertes Argument für eine spezifisch differente Sensibilität. Zudem ist *Phycomyces* sehr hydrotropisch. Diese Erscheinung ist ein weiterer Beweis, daß es sich bei den vorher erwähnten Versuchen im Dampfraume nicht um Hydrotropismus handeln kann.

d) Allgemeine Betrachtungen.

Aus den mitgeteilten Versuchen mit Gasen und Dämpfen ist zu ersehen, daß die tropistische Sensibilität gegenüber den Agentien in spezifisch verschiedener Weise ausgebildet ist. Denn, während die Wurzeln gegenüber Gasen und Dämpfen in ausgezeichneter Weise reagieren, wurde bei Sprossen wohl eine tropistische Reizung durch die Dämpfe verschiedener Stoffe, nicht aber durch Sauerstoff und Kohlensäure beobachtet und bei *Phycomyces* verhielten sich die Sporangienträger sowohl gegen Dämpfe wie gegen Sauerstoff und Kohlensäure indifferent.

Bei den Wurzeln wurde durch alle untersuchten Dämpfe und Gase eine tropistische Reizung erzielt. Jedoch wirkt augenscheinlich der Wasserstoff nicht direkt, sondern dadurch als Reiz, daß er bei einseitigem Angriff in der Luft ein Sauerstoffgefälle und hierdurch eine tropistische Reizung hervorruft.

Mit den Wurzeln wurde auch bei Versuchen in Wasser mit allen geprüften Stoffen eine tropistische Reizung erhalten. Diese wird durch die flüchtigen Stoffe (soweit sie in Wasser löslich sind) also sowohl bei Einwirkung in Dampfform, als auch im gelösten

Zustande hervorgerufen, wie zB. die Versuche mit Alkohol, Äther und Essigsäure zeigen. Wenn bis dahin in Wasser durch Kohlensäure und Sauerstoff kein Erfolg erzielt wurde, so dürfte dieser darin liegen, daß bei den bezüglichen Versuchen nicht die zur Reizschwelle nötige Konzentration erreicht wurde. Das ist um so mehr zu vermuten, als die Stoffe, die in Wasser nur in mäßiger Menge löslich sind, auch in Gasform erst bei ziemlicher Dichte eine tropistische Reizung hervorrufen.

Jedenfalls sind wir berechtigt, alle diese von der spezifischen Qualität des Stoffes abhängigen tropistischen Reizungen als Chemotropismus[1]) zu bezeichnen, gleichviel, ob sie durch die inäquale Verteilung gelöster oder gasförmiger Stoffe auslösend wirken. Jedoch ist es auch erlaubt, bei Versuchen mit Gasen und Dämpfen von Aerotropismus zu reden.

Daß es sich aber bei diesen Versuchen um eine von der Qualität der Stoffe abhängige, also um eine chemotropische und nicht um eine osmotropische Reizung handelt, ist schon hervorgehoben worden. Bei den Versuchen mit Gasen und Dämpfen im Dampfraum ist dieses eigentlich selbstverständlich, und zudem wirken verschiedene flüchtige Stoffe offenbar schon bei sehr geringer Dampfmenge. Ebenso steht auch die Reizwirkung gelöster Stoffe durchaus nicht im Verhältnis zu ihrer osmotischen Leistung, wie früher dargetan wurde (siehe p. 12). Wenn bis dahin durch jeden in genügender Menge löslichen Körper bei den Versuchen mit Wurzeln in Wasser ein Reizerfolg beobachtet wurde, so ist damit nicht ausgeschlossen, daß fernerhin indifferente Stoffe aufgedeckt werden. Ohnehin scheint ja der Wasserstoff an sich keine Reizwirkung auszuüben.

E. Wurzeln in Erde resp. Sägespänen.

Ebenso wie in Luft, treten auch in Erde resp. Sägespänen resultierende Bewegungen ein, wenn neben der chemotropischen Reizung zugleich durch inäquale Verteilung der Feuchtigkeit eine hydrotropische Reizung stattfindet. Letztere ist aber bei den Versuchen in gleichmäßig feuchter Erde resp. Sägespänen ausgeschlossen, die wir zunächst behandeln.

---

1) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, II. Aufl., Bd. II, p. 581.

1. Methodik.

den Versuchen mit diffundierenden Gasen und flüchtigen wurde ein Zylinder nach Molisch verwendet (siehe Fig. 2). linder wurde in der früher (p. 17) beschriebenen Weise mit ersuchsgase gefüllt, mit Keimlingen beschickt und dann in großen Kasten von 80 cm Länge und 50 cm Breite, mit euchter Erde resp. Sägespänen gefüllt, 10 cm tief eingebettet. heben will ich noch, daß die Feuchtigkeitsverteilung in der resp. den Sägespänen ganz gleichmäßig war. Durch Bedecken ingebetteten Apparates mit einer großen, feuchten Glocke eine Veränderung der gleichmäßigen Feuchtigkeit verhindert. Bei flüchtigen Stoffen wurden die Lösungen derselben (siehe in den Zylinder getan. Bei den Versuchen mit strömenden verwendete ich einen Zinkblechkasten mit Glimmerplatte Fig. 4), der in diesem Falle mit derselben Erde resp. Säge- n gefüllt wurde, in die er eingebettet wurde. Es geschah s, um eine hydrotropische Reizung durch inäquale Verteilung Feuchtigkeit zu verhindern. Im übrigen war die Wurzel- lnung genau dieselbe, wie die bei den im dampfgesättigten ne angestellten Versuchen. Die feuchten Gase wurden im achen Strome, 25 Blasen in der Minute, durch den Zinkblech- en geleitet.

2. Resultate in Erde resp. Sägespänen.

In folgenden Tabellen sind die Resultate für Wurzeln in gleich- ig feuchter Erde resp. Sägespänen zusammengestellt.

Tabelle 15.

rsuchsdauer 12 Stunden. Versuchsapparat = Zylinder nach Molisch, s. Fig. 2.
Versuchsobjekte: *Lupinus albus*. Temperatur 19° C.

Bezeichnung der Stoffe	Abstände von der Seitenfläche	Anzahl der Wurzeln, die sich positiv oder negativ krümmen
hol 25 %	½ cm entfernt	4 = −
	2,5 cm „	3 = +
	5 cm „	4 = +
	8 cm „	2 = +, 1 = 0
rwasser 4 %	½ cm „	3 = −, 1 = +
	2,5 cm „	2 = +, 1 = −
	5 cm „	4 = +
	8 cm „	3 = +

Bei Anwendung von Kampfer wurden 14 Wurzeln geprüft. Von diesen reagierten 10 = +, 4 = 0. Gegen andere Stoffe, wie Methylalkohol usw., verhielten sich die Wurzeln analog, wie gegen Ather usw.

Tabelle 16.

Versuchsobjekte: *Lupinus albus*. Versuchsdauer: 12 Stunden. Temperatur 20° C. Diese Tabelle dient zur Feststellung der Reaktionen sowohl bei Interdiffusion als bei Massenströmung der Gase in gleichmäßig feuchter Erde.

Name des Stoffes	Abstände der Wurzeln von der Fläche in cm	Gase aus dem Zylinder diffundierend	Gase aus dem Zinkblechkasten (Fig. 4) strömend	Bemerkungen
		Anzahl der positiven u. negativen Krümmungen		
Sauerstoff	½	4 = +	4 = +	Die Abweichungen von der Vertikalstellung der Wurzeln sind stärker, wenn sie durch den Gasstrom, als dann, wenn sie durch Interdiffusion hervorgebracht sind.
	2,5	3 = +	3 = +	
	5	4 = +	4 = +	
	8	2 = +, 1 = 0	3 = +	
Kohlensäure	½	1 = +, 3 = −	4 = −	
	2,5	2 = +, 1 = −	2 = +, 1 = −	
	5	4 = +	4 = +	
	8	3 = +	3 = +	
Wasserstoff	½	2 = −, 2 = 0	1 = −, 3 = 0	
	2,5	3 = 0	3 = 0	
	5	4 = 0	4 = 0	
	8	3 = 0	3 = 0	

Analoge Resultate wie im dampfgesättigten Raume wurden erhalten, wenn wir in Erde zwei Gase in der früher (p. 29 usw.) beschriebenen Weise gegeneinander wirken ließen.

Dagegen wurden in einem Luftstrom, und wenn Luft aus dem Glaszylinder in die Erde diffundierte, keine Wurzelreaktionen beobachtet.

Sobald jedoch die Erde resp. Sägespäne nicht gleichmäßig feucht waren, trat noch ein anderer Faktor, die hydrotropische Reizung, hinzu, und es ergaben sich somit kombinierte Effekte dieser und der chemischen Reizung.

Tatsächlich überwog der Aerotropismus den Hydrotropismus in Erde, die nach außen trockner wurde. Die Wurzeln krümmten sich nach der trockneren Erde, sogar bis an die Oberfläche, wenn dafür gesorgt war, daß einseitig Luftsauerstoff auf diese einwirken konnte. Diese Krümmung wird offenbar durch Sauerstoffreizung verursacht, denn dieselbe trat auch dann ein, wenn sich die Wurzel bei einseitigem Luftzutritt in gleichmäßig feuchter Erde resp. Säge-

spänen befanden, und eine geräumige, dampfgesättigte Glocke darüber gesetzt wurde. Wenn aber dafür gesorgt war, daß in Erde resp. Sägespänen der Sauerstoffgehalt von innen nach außen abnahm, so traten dabei Wurzelkrümmungen nach innen ein.

Ich beschränke mich darauf, nur einige der ausgeführten Versuche mitzuteilen, die alle ein dem Gesagten entsprechendes Resultat gaben.

Um einen Abfall der Feuchtigkeit von innen nach außen zu erhalten, wurde trockne Erde in einen Drahtkorb gebracht, und in der Mitte dieses ein durchlochter Blechzylinder eingebettet, der mit nasser Erde gefüllt war. In diesem Falle krümmten sich die um den inneren Blechzylinder aufgestellten Wurzeln nach außen, obgleich sie sich bei dieser Bewegung in die trocknere Erde zu begeben hatten.

Ferner operierte ich mit einem rechteckigen Kasten, dessen beide Breitseiten mit Glasplatten und dessen beide Schmalseiten mit Eisendrahtnetz verschlossen waren. In diesem Kasten wurde durch entsprechendes Einfüllen von feuchter und trockener Erde ein Feuchtigkeitsabfall hergestellt. Dieser wurde dann dadurch dauernd erhalten, daß gegenüber dem einen Drahtnetze feuchtgehaltenes Papier, gegenüber dem Drahtnetz auf der opponierten Schmalseite ein Gefäß mit Chlorcalcium aufgestellt wurde. Die in die Erde eingepflanzten Wurzeln krümmten sich, dem Zutritt der Luft folgend, sowohl nach der einen, wie nach der anderen Drahtseite, also sowohl nach der feuchteren als nach der trockneren Erde.

Daß die tropistische Reizung durch Sauerstoff maßgebend ist, geht aber noch aus folgendem hervor:

Bringt man nämlich in das Innere der Erde einen durchlochten Blechzylinder und leitet in diesen Sauerstoff, so erfolgt eine Krümmung nach dem Blechzylinder hin, gleichviel, ob die Wurzeln sich dabei in die feuchtere oder trocknere Erde begeben müssen.

Analoge Resultate wurden mit Kohlensäure erhalten, d. h. wenn Kohlensäure einseitig zutrat, stellte sich je nach der Intensität der Kohlensäurewirkung eine gegen die Kohlensäure gerichtete oder von dieser abgewendete Krümmung ein.

Nach alledem wird also der Hydrotropismus ziemlich leicht durch die chemotropischen (aerotropischen) Reizungen überwogen. Andere Reizungen kommen bei den angedeuteten Versuchsanstellungen nicht in Betracht; denn die Wasserströmung, die etwa durch Transpiration im Boden erzielt wird, ist zu gering, um Rheo-

tropismus zu erzielen. Zudem reagieren im Boden in der besagten Weise alle Wurzeln, auch solche, denen die rheotropische Sensibilität[1]) abgeht.

Bei dem Überwiegen des Chemotropismus ist es auch verständlich, daß intakte und dekapitierte Wurzeln in Erde in ähnlicher Weise reagieren, obgleich mit der Entfernung der Wurzelspitze die hydrotropische Reizung aufgehoben ist.

F. Hauptresultate.

Die Wurzeln von Keimpflanzen werden durch die verschiedensten Stoffe bei inäqualer Verteilung in Wasser zu tropistischen Krümmungen veranlaßt.

Es handelt sich hierbei um eine chemotropische Reizwirkung. Denn wenn auch (abgesehen von Sauerstoff und Kohlensäure) alle genügend löslichen Stoffe Reaktionen hervorriefen, so steht die Reizwirkung der Stoffe doch in keinem Verhältnis zur osmotischen Leistung derselben. Vielmehr wird die Reizung bei manchen Körpern schon durch sehr geringe, bei andern erst durch ansehnliche Mengen hervorgebracht. Soviel geht aus den mitgeteilten Versuchen sicher hervor, obgleich die Reizschwelle nicht exakt bestimmt wurde.

Durch alle Stoffe wird positiver Chemotropismus hervorgerufen. Mit einer Steigerung der Konzentration tritt aber bei vielen Stoffen negativer Chemotropismus auf.

Die Wurzeln reagieren ebenfalls chemotropisch, wenn in dampfgesättigter Luft Kohlensäure, Sauerstoff, sowie die Dämpfe verschiedener flüchtiger Stoffe in inäqualer Verteilung auf sie einwirken. Auch in diesem Falle wird durch manche Stoffe bei höherer Dichte der positive Chemotropismus in negativen Chemotropismus verwandelt.

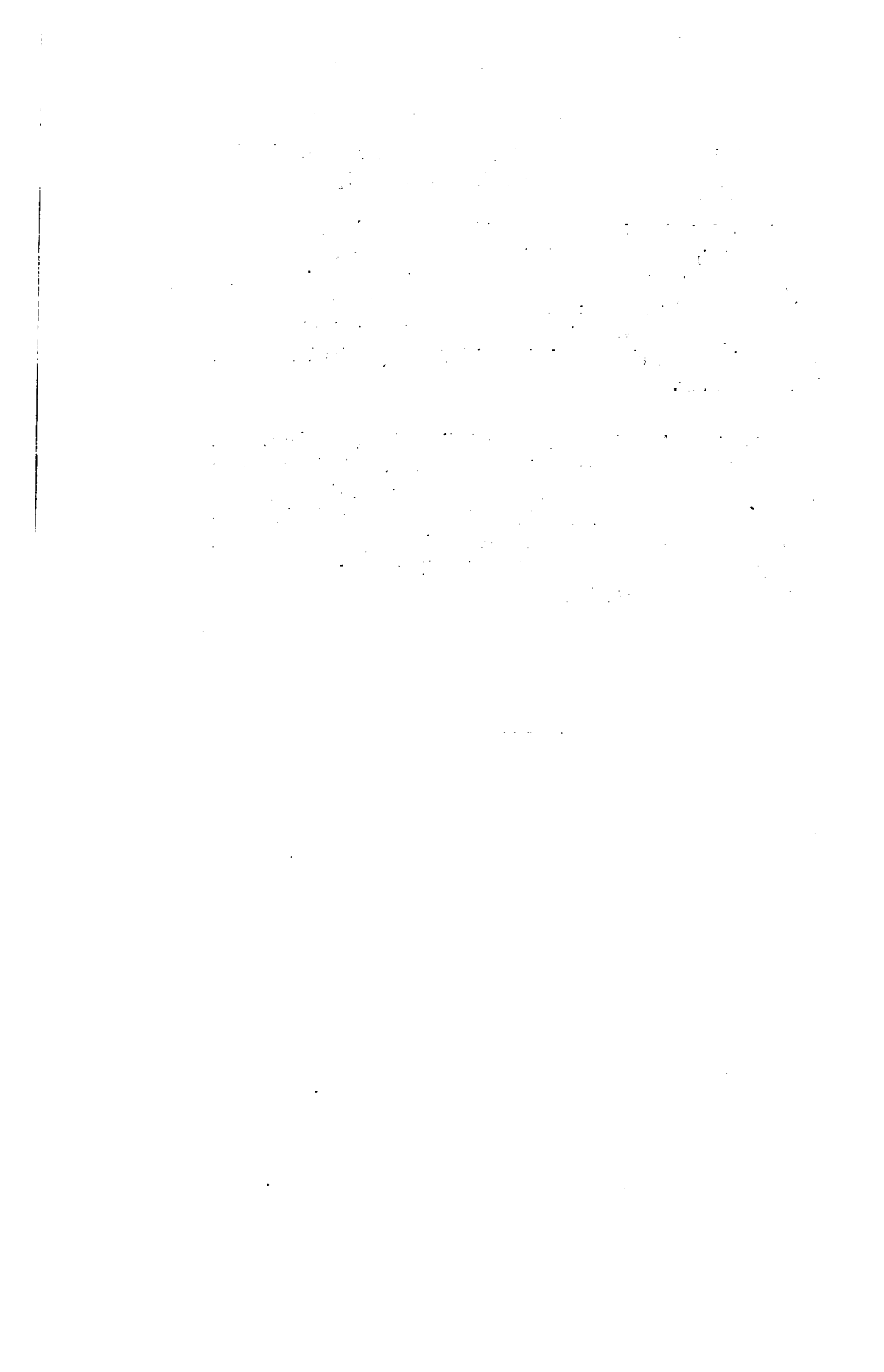
Bei Sprossen von Blütenpflanzen wird zwar nicht durch Sauerstoff und Kohlensäure, wohl aber durch die Dämpfe verschiedener Stoffe Chemotropismus hervorgerufen. Dagegen konnte bei den Sporangienträgern von *Phycomyces* weder durch Gase noch durch Dämpfe eine chemotropische Reaktion erhalten werden. Sowohl bei Wurzeln, als auch bei Sprossen konnte im dampfgesättigten Raume durch den einseitigen Anprall eines dampfgesättigten Luft-

1) Newcombe, Annals of Botany 1902, Bd. 16, p. 429. Desgl. Botan. Gazette 1902, Bd. 33, p. 177.

stromes keine Krümmungsreaktion ausgelöst werden, die aber bei nicht völlig dampfgesättigter Luft infolge der hydrotropischen Reizung eintritt.

Auch bei den in Erde befindlichen Wurzeln vermag eine chemotropische Reizung durch inäquale Verteilung von Sauerstoff usw. die hydrotropische Reizung leicht derart zu überwinden, daß sich die Wurzel nach dem trockneren Boden krümmt.

Alle geprüften Wurzeln führen nach dem Dekapitieren der Wurzelspitze noch chemotropische Reizkrümmungen im Wasser und in der Luft aus.

Die diesen Ausführungen zugrunde liegenden Versuche wurden im Botanischen Institut zu Leipzig ausgeführt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Geheimrat Professor Dr. Pfeffer, sowie Herrn Privatdozent Dr. Nathansohn für die vielfachen Anregungen und die stete Unterstützung, welche die genannten Herren mir während des Verlaufes meiner Arbeit zuteil werden ließen, meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Druck von E. Buchbinder in Neu-Ruppin.